

Paramètres génétiques des ruminants et typologie socioéconomique des élevages en milieu rural Burundais

**Contribution à la réflexion sur la gestion durable des ressources génétiques des
ruminants domestiques au Burundi**

Genetic parameters of ruminants and socioeconomic typology of farms in rural area of Burundi

**Contribution to the reflection on the sustainable management of genetic resources
of domestic ruminants in Burundi**



Josiane MANIRAKIZA

**Thèse présentée en vue de l'obtention du grade
de Docteur en Sciences Vétérinaires**

Année académique 2019-2020



UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DE MEDECINE VETERINAIRE
DEPARTEMENT DE GESTION VETERINAIRE DES RESSOURCES ANIMALES
SERVICE DE GENETIQUE QUANTITATIVE

Paramètres génétiques des ruminants et typologie socioéconomique des élevages en milieu rural Burundais

Contribution à la réflexion sur la gestion durable des ressources génétiques des ruminants domestiques au Burundi



Genetic parameters of ruminants and socioeconomic typology of farms in rural area of Burundi

Contribution to the reflection on the sustainable management of genetic resources of domestic ruminants in Burundi

Josiane MANIRAKIZA

**Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en sciences vétérinaires**

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020

Thèse financée par Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur-ARES



Dédicace

**A mon cher époux Gérard et nos filles :
Bernice, Dia Christa, Fiona Destine,
Mica Gérarde et Reine Colombe
Pour votre patience**

Remerciements

Au terme de plusieurs années de recherche, cette thèse est le fruit de mes efforts et de la contribution de plusieurs personnes physiques et morales. Je trouve une heureuse occasion d'exprimer ma profonde gratitude à toutes ces personnes qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'aboutissement de ce travail.

Merci particulièrement à Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur-ARES. Sans son soutien financier, ce travail ne serait certainement pas abouti.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Madame Professeure Johann Detilleux, qui a accepté de m'accorder sa confiance en tant que sa doctorante en sciences vétérinaires. Ses exigences, sa rigueur et sa disponibilité, malgré ses multiples responsabilités, ont été pour moi une source de motivation. Un grand merci chère Madame Johann pour le suivi rapproché durant cette aventure et tous ces moments de bonheur passés avec vous.

Je remercie également Dr Hatungumukama Gilbert qui m'a toujours accordé sa confiance en tant que chercheur associé aux projets d'élaboration d'un plan d'action national sur la gestion des ressources génétiques animales au Burundi et au projet de recherche-développement sur les voies d'amélioration de la chèvre naine d'Afrique orientale en milieu rural burundais. Ces deux projets ont finalement été à l'origine de cette thèse. Qu'il trouve dans les résultats de ce travail une entière satisfaction à la hauteur de ses efforts fournis.

Je suis également très reconnaissante envers Nicolas Antoine-Moussiaux et Jean-François Cabaraux pour avoir spontanément accepté d'être membres de mon comité de thèse. Leurs remarques et observations m'ont permis de mener à bon port ce travail de recherche. Merci à Nicolas pour m'avoir initié aux approches participatives.

Je voudrais aussi remercier les membres du Jury de cette thèse : Professeurs Charles Michaux, Laurence Roudart, Bindelle Jérôme, Christian Hanzen, Lebailly Philippe et Hornick Jean-Luc. Vous avez accepté de lire à fond mon manuscrit et vous avez fortement contribué à l'amélioration de ma thèse. Je dis merci à Fabio Berti, pour ses observations et remarques constructives. Merci Madame Professeure Delcenserie Vélonique pour avoir accepté d'assurer la présidence de mon jury de thèse.

Je remercie Dieudonné, Grégoire et Aron, qui m'ont toujours aidé et accompagné pour la collecte des données. Je remercie également les techniciens vétérinaires, les agents communautaires en santé animales et les agri-éleveurs qui nous ont accordé leur précieux temps pour la collecte des données.

Je remercie l'ensemble du personnel du Département de Gestion Vétérinaire des Ressources Animales, en pensant particulièrement à Anne qui a toujours facilité mon dossier administratif, à Nassim pour ses précieux conseils et encouragements et à Nadine pour de nombreux services.

J'ai eu l'opportunité de travailler avec des doctorants de divers pays, je pense notamment à Aouatif, Benoît, Fafa, Francis, Kizito, Madi et Younouss. Merci pour la collaboration et tous les moments passés ensemble.

C'est l'occasion d'avoir une pensée particulière pour mes parents. Je les remercie de m'avoir envoyé à l'école. Que cette thèse soit l'accomplissement de leurs efforts.

Je remercie particulièrement mon cher époux Sabamahoro Gérard. Son double rôle de papa et de maman dans l'encadrement et l'éducation de nos enfants durant mes absences, sa patience, sa détermination et ses encouragements m'ont permis de persévérer jusqu'au bout. Sans son appui, cette thèse n'aurait pas vu le jour aujourd'hui. Que celle-ci lui procure entière satisfaction.

Abréviations

ACSA : Agent Communautaire en Santé Animale
AEZ: Agro-Ecological Zone
AFT: Accelerated Failure Time
AFT: African Taurine
AFC: Annual Fixed Costs
AGM: Annual Gross Margin
ANM: Annual Net Margin
AVC : Annual Variable Costs
ARES-CCD: Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur- Commission pour la Coopération au Développement
AU-IBAR: African Union Inter-African Bureau for Animal Resources
BIF: Burundian Franc
BL: Body Length
BPEAE: Bureaux Provinciaux de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage
BW: Body Weight
CCN: Crête Congo-Nil
CDC: Comité de Développement Collinaire
CEP: Camp-Ecole-Paysan
CG: Chest Girth
CHL: Central Highlands
CNC: Congo-Nil-Crest
CSC : Chaîne de Solidarité Communautaire
CURPEL : Centre Universitaire de Recherche sur le Petit Elevage
DMY: Daily Milk Yield
DNA: Deoxyribonucleic Acid
DNE: Dépressions du Nord-Est
EUT: European Taurine
FACAGRO: Faculté des sciences Agronomiques
FAO: Food and Agriculture Organisation
FFS: Farmer-Field-School
FIDA : Fonds International de Développement Agricole
GvB: Gouvernement du Burundi
HPD: High Posterior Density
HW: Height at Withers
IASZ: Intégration Agro-Sylvo-Zootechnique

IMB: Imbo

ISABU: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

MCA: Multiple Correspondence Analysis

MCLS: Mixed Crop Livestock System

MCMCglmm: Markov Chain Monte Carlo generalized linear mixed model

MINEAGRIE : Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage

MUM: Mumirwa

PAIVA-B : Projet d'Appui à l'Intensification et à la Valorisation Agricoles du Burundi

PIB : Produit Intérieur Brut

QTL : Quantitative Trait Locus

SAPT : Système Agro-Pastoral Traditionnel

SIL : Système Intensif Laitier

SNP: Single Nucleotide Polymorphism

ST: Survival time

TEAP: Traditional Extensive Agro-Pastoral

TR : Time ratio

Composition du Jury

Delcenserie Vélonique (Université de Liège, Belgique)	Présidente du jury
Charles Michaux (Université libre de Bruxelles)	Membre du jury
Laurence Roudart (Université libre de Bruxelles)	Membre du jury
Bindelle Jérôme (Université de Liège, Belgique)	Membre du jury
Christian Hanzen (Université de Liège, Belgique)	Membre du jury
Lebailly Philippe (Université de Liège, Belgique)	Membre du jury
Hornick Jean-Luc (Université de Liège, Belgique)	Membre du jury
Nicolas Antoine-Moussiaux (Université de Liège, Belgique)	Membre du Comité de Thèse
Jean-François Cabaraux (Université de Liège, Belgique)	Membre du Comité de Thèse
Hatungumukama Gilbert (Université de Liège, Belgique)	Co-promoteur local
Johann Detilleux (Université de Liège, Belgique)	Promoteur

Table des matières

Résumé-Abstract	
Résumé	1
Abstract.....	3
Préambule général.....	
Préambule général.....	5
Introduction générale.....	
Contexte de gestion des ressources génétiques animales dans la région humide d'Afrique des grands lacs	6
Bref aperçu bibliographique pour la conception d'un programme de sélection en milieux contrôlés versus non contrôlés.....	7
Enjeux du secteur de l'élevage au Burundi	9
Du point de vue socio-économique.....	9
Du point de vue géo-climatique	10
Dynamique du secteur de l'élevage dans le contexte de la pression démographique et foncière au Burundi	12
Problématique, enjeux et objectifs de la thèse.....	16
Références	18
Partie I. Etat des lieux des élevages bovin et caprin et effet des croisements Frison et Boer sur l'amélioration des performances des animaux	
Préambule	21
IA. Cartographie des systèmes d'élevage bovin en milieu rural burundais	21
IB. Effet de l'ascendance taurine européenne sur la production laitière de bovins laitiers croisés Ankole-Holstein dans le système mixte des régions de haute altitude du Burundi..	28
Résumé.....	28
Summary	29
Introduction.....	30
Materials and methods	31
Results.....	32
Discussion	35
References.....	40
IC. Caractérisation des systèmes de production et effet du croisement Boer sur les mesures corporelles des caprins au Burundi.....	43
Résumé.....	43
Abstract	44
Introduction.....	45
Materials and methods	46
Results.....	49
Discussion	57
Conclusions and recommendations.....	59
References.....	60
IC. Conclusion partielle	63
Partie II. Pertinence des champ-école-paysans pour le renforcement des capacités productives des agri-éleveurs et la mise en place d'un programme de sélection de la chèvre locale.....	
Préambule	64
IIA. Descriptif des champ-école-paysans et leur mise en place au Burundi	64

IIB. Efficacité des champ-école-paysans dans l'adoption des technologies et l'amélioration de la productivité des élevages bovins laitiers en système à faibles intrants	68
Résumé.....	68
Abstract	69
Introduction.....	70
Material and methods.....	71
Results.....	73
Discussion	79
Conclusion	83
References.....	83
IIC. Evaluation socio-économique de la pertinence des champ-école-paysans pour l'amélioration génétique de la chèvre dans les systèmes de petites exploitations	86
Résumé.....	86
Abstract	87
Introduction.....	88
Material and methods.....	89
Results.....	95
Discussion	103
Conclusion	106
References.....	107
IID. Conclusion partielle	110
Partie III. Les paramètres génétiques de la chèvre locale en milieu rural burundais	
Préambule	111
IIIA. Les paramètres génétiques de croissance et de survie des chevreaux de race locale en milieu rural burundais.....	113
Résumé.....	113
Abstract	114
Introduction.....	115
Materials and methods	116
Results.....	119
Discussion	121
Conclusion	122
References.....	123
Discussion générale et perspective d'avenir.....	
Discussion générale	127
Justification de l'intérêt de la thématique et de l'approche méthodologique	127
Limites de l'approche	128
Durabilité des systèmes.....	129
Paramètres génétiques de la chèvre de race locale	136
Conclusion générale et perspectives	137
Références	138
Annexes	140

Résumé-Abstract

Résumé

Les systèmes d'élevage dans les pays en développement sont influencés par des facteurs environnementaux, socioéconomiques et culturels. Au Burundi, ce secteur a connu de nombreux changements suite : (1) à la pression démographique et foncière qui a entraîné une régression et dégradation des ressources pastorales au profit de l'agriculture, (2) aux actions des services d'élevage et à celles associées aux projets de développement rural qui ont favorisé le métissage des races locales et la vulgarisation des cultures fourragères, (3) aux épidémies et crises sanitaires qui ont enfreint les actions de développement des monogastriques et (4) et à la concurrence entre les aliments à destination de ces derniers et de l'homme. Les mesures récentes de développement de l'élevage se sont focalisées sur les ruminants, en particulier les bovins laitiers et le croisement de la chèvre locale avec des boucs de sang Boer. La mise en œuvre de ces mesures n'a cependant pas été accompagnée par une structure de contrôle et de gestion rationnelle des risques. Visant à fournir une base scientifique nécessaire à la gestion durable de ces ressources, cette thèse tente (1) de caractériser les performances zootechniques des animaux dans leurs systèmes de production, (2) d'évaluer la pertinence des organisations paysannes sous forme de champs-école-paysans pour l'amélioration et la gestion durable des ressources animales et (3) d'évaluer les paramètres génétiques de la chèvre locale pour la faisabilité d'un programme de sélection au sein de cette race.

Afin de caractériser les performances des bovins et des caprins dans leurs systèmes de production, une brève cartographie de leurs types génétiques et de leurs systèmes de production a été établie. A cette fin, des enquêtes préliminaires ont été menées dans 201 et 319 ménages éleveurs de vaches et de chèvres respectivement. En élevage bovin, nous avons observé que les systèmes extensifs traditionnels de bovins Ankole avaient tendance à être remplacés par des élevages de petite échelle de vaches croisées avec des Holstein (système d'intégration agro-sylvo-zootechnique). Cette tendance était beaucoup plus prononcée dans les montagnes humides et densément peuplées situées au centre du pays qu'aux zones périphériques à faible altitude et longue saison sèche. Nous avons ensuite caractérisé plus finement la composition raciale des animaux croisés et évalué l'effet du niveau de croisement sur la production laitière de ces animaux. Les résultats des analyses statistiques ont révélé une augmentation de la production laitière avec l'augmentation du niveau de croisement, significative mais toutefois inférieure à celle attendue théoriquement. En élevage caprin, les résultats ont révélé une tendance des systèmes de production similaire à celle observée en élevage bovin, mais à une plus faible ampleur. En effet, les éleveurs des zones de montagnes humides avaient tendance à élever des petits troupeaux composés des animaux de race locale et des croisés et à adopter le système d'intégration agro-sylvo-zootechnique, alors que ceux des zones sèches et de basse altitude avaient des troupeaux larges, composés des animaux de race locale et élevés en gardiennage libre dans les pâturages communautaires. En outre, les caprins croisés Boer étaient significativement plus lourds et

de plus grand gabarit que les animaux de race locale, mais ici aussi, le niveau d'amélioration était inférieur au niveau attendu.

Pour évaluer la contribution des champs-école-paysans à l'amélioration et la gestion durable des ressources animales, nous avons évalué les perceptions des agri-éleveurs sur ces élevages et estimé la marge brute annuelle par vache et par chèvre. A cette fin, 105 et 160 ménages respectivement éleveurs de vaches et de chèvres ont été enquêtés. En élevage bovin, les résultats ont montré un effet positif des champs-école-paysans dans l'adoption des technologies et l'amélioration de la productivité par animal, même si des mesures pour les consolider restent requises. En élevage caprin, trois groupes d'éleveurs ont pu être identifiés. Le premier groupe rassemble les agri-éleveurs pauvres dont la participation aux organisations n'est pas durable car limitée par les ventes excessives de caprins. Le deuxième regroupe les agri-éleveurs possédant des terres cultivables qui envisagent de remplacer une partie de leur troupeau de chèvres par une vache. Dans le troisième groupe, les agri-éleveurs sont membres des champs-école-paysans et possèdent un nombre élevé de chèvres reçues de la part d'un projet de recherche développement pour l'amélioration des performances de la chèvre locale. Ils envisagent de continuer l'élevage caprins dans l'avenir mais ils manifestent leur volonté à limiter la taille de troupeau caprins. La marge brute annuelle par chèvre était significativement plus élevée chez ce dernier groupe que chez les autres groupes. Les agri-éleveurs des vaches laitières ont manifesté leur volonté de continuer à participer à ces organisations, même si le financement extérieur s'arrête. Par contre, en élevage caprins, la durabilité de ces associations semble être compromise car les agri-éleveurs plus ou moins nantis ont tendance à adopter l'élevage bovin supposé plus rentable que celui des caprins. Ces derniers sont souvent élevés par des ménages très pauvres. L'intégration d'autres activités génératrices des revenus à ces associations a été proposée pour protéger la chèvre des ventes excessives et améliorer le bien-être des agri-éleveurs. En outre, ce contexte socioéconomique ne permet pas une sélection avancée basée sur la valeur d'élevage des animaux; une sélection basée sur la valeur phénotypique pour le poids corporel et la survie des chevreaux est proposée. En effet, les résultats ont montré que ces caractéristiques étaient responsables de la faible productivité estimée pour de nombreux agri-éleveurs de chèvres.

Pour évaluer si la sélection phénotypique serait bénéfique, nous avons estimé les paramètres génétiques de croissance et de survie des chevreaux de la chèvre de race locale en milieu rural. Les valeurs obtenues pour l'héritabilité, la répétabilité et les corrélations génétiques indiquent que la réponse à la sélection phénotypique sur le poids et le format des chèvres serait faible, et nulle sur la survie des chevreaux.

Il ressort de l'ensemble de ces résultats que la faible productivité de la plupart des élevages villageois liée aux faibles effectifs d'animaux et la faible technicité des agri-éleveurs, limite la gestion durable des ressources bovine et caprine au Burundi. Les organisations paysannes pourraient contribuer au renforcement des capacités des agri-éleveurs et à l'amélioration de la productivité des animaux si des mesures sont mises en place pour les consolider. Les paramètres génétiques quant à

eux se sont révélés peu favorables pour une sélection basée sur la valeur phénotypique. L'amélioration des conditions d'élevages et la mise en place d'un programme complémentaire de sélection basée sur la valeur d'élevage des animaux sont proposées ; les boucs sélectionnés pourront être mis à la disposition des agri-éleveurs. Un engagement à long terme de la part de tous les acteurs du secteur est requis pour un appui technique et financier des organisations paysannes intégrées.

Abstract

Livestock systems in developing countries are influenced by environmental, socio-economic and cultural factors. In Burundi, this sector has evolved, due to: (1) high human population and land pressure which has led to a regression and degradation of pastoral resources due to the competition with agriculture, (2) actions of livestock services and rural development projects which promoted the crossbreeding of local breeds and the extension of fodder crops (3) epidemics and health crises that have impeded the actions of development of monogastric species and (4) competition between food for the latter and for human. Latest development policies in this sector were focused on ruminants, especially on small scale dairy cattle farming and crossing the local goat with bucks of Boer blood. However, these policies have not been accompanied by any structure for control and rational risk management. Aimed at providing a scientific basis for the sustainable management of these resources, this thesis attempts to (1) characterize zootechnical performances of animals in their production systems, (2) evaluate the relevance of farmers' organizations as farmers-field-schools for the sustainable improvement and management of animal resources and (3) evaluate genetic parameters of the local goat for the feasibility of a breeding program.

To characterize cattle and goat zootechnical performances in their production systems, we established a mapping of genetic types and production systems according to eco-climatic conditions. To this end, preliminary surveys were conducted in 201 and 319 cow and goat farmers. In cattle breeding, we observed a progressive shifting from the traditional extensive system of local breed to small-scale dairy farming of Holstein crossbreds in mixed crop-livestock system. These changes were more obvious in the humid and densely populated central highlands than in the boundary lowlands with a long dry season. We then characterized more finely the racial composition of the crossed animals and evaluated the effect of the crossing level on the milk production of these animals. Statistical analyses showed an increase in milk production as the Holstein blood increase, significant but lower than theoretically expected. In goat breeding, results showed a trend in production systems similar to that observed in cattle farming, but at a lesser extent. Indeed, farmers of humid highlands had tendency to raise small herds composed of indigenous and crossbred animals and to adopt mixed crop livestock system, whereas those of dry lowlands had large herds composed mainly of indigenous animals grazing freely in communal pastures. Further, Boer crossbreds were significantly heavier and greater in size compared to local breeds, although the level of improvement was below the theoretically expected.

In terms of relevance of farmers-field-schools for improvement and sustainable management of animal resources, we assessed farmers' perceptions on the two species and estimated the annual gross margin per cattle and goat. Surveys were carried out on 105 and 160 dairy and goat farmers respectively. In cattle farming, results showed a positive effect of farmers-field-schools in the adoption of technologies and improvement of productivity per animal, although measures to consolidate them are still required. In goat breeding, three groups of farmers were identified. The first group gathers poor households whom the sustainable participation in these organizations is limited by excessive sales of goats. The second regroups well-off farmers with high arable land who planned to convert a part of goat-flock into a cow. The last group is composed of successful members of farmers-field-schools and have high goat herds received from a project of research development for genetic improvement of the local goat breed. They plan to continue goat farming in the future, but showed their willingness to reduce their goat herd size. The annual gross margin per goat was significantly higher in the latter group than in the other groups. Dairy farmers have shown their willingness to continue to participate in such organizations even the end of external funding. Inversely, the results showed that the sustainability of such organizations for goat breeding program could be compromised because farmers with high farm size tend to adopt cattle farming, which is supposed to be more profitable than that of goats. These are often raised by poor households. The integration of other economic activities into these associations has been proposed to generate rapid incomes and so to protect goat from excessive sales and improve the welfare of farmers. Further, this socioeconomic context do not allow an advanced selection based on the breeding value of animals; a selection based on the phenotypic value for body weight and survival of kids is proposed. Indeed, results showed that these traits were responsible for the low productivity estimated for many goat keepers.

To evaluate if this phenotypic selection would be of interest, the last study aimed to estimate the genetic parameters of growth and survival of goat kids of local breed in rural areas. Estimates heritability, repeatability and genetic correlations indicate that the response of phenotypic selection of body weight and size would be modest and null for kid survival.

All of these results show that the low productivity of most livestock farms due to low herd size and weak capacities of farmers, jeopardizes sustainable management of cattle and goat resources in Burundi. Farmers' organizations could contribute to empower smallholder's capacities and improve animal productivity if measures of their consolidation are established. Genetic parameters were less favorable for a phenotypic selection. Improving the breeding conditions and setting up a complementary program of selection based on the breeding value are proposed; selected bucks could be then diffused in the farmers' organizations. A long-term commitment for all stakeholders of the sector is required for technical and financial support of integrated farmers' organizations.

Préambule général

Préambule général

Notre travail est composé de cinq parties. La première partie qui est **l'introduction générale** présente le contexte de gestion des ressources animales dans la région humide de l'Afrique des grands lacs, les enjeux et la dynamique du secteur de l'élevage au Burundi, ainsi que les objectifs de la thèse.

La deuxième partie est consacrée à **l'état des lieux des systèmes d'élevage bovins et caprins en milieu rural burundais**. Elle décrit également le niveau d'amélioration des performances des races locales lorsqu'elles sont croisées avec des animaux de sang Frison et Boer. Elle est composée de 2 sections qui sont présentées sous forme d'articles. Après une brève cartographie des systèmes d'élevage bovin, la première section concerne les résultats d'un article publié dans « *Animal Genetics* » sur l'effet de l'ascendance taurine européenne sur la production laitière de bovins laitiers croisés Ankole-Holstein dans le système mixte des régions de haute altitude du Burundi. La deuxième section concerne les résultats d'un article qui est accepté pour publication dans « *Pastoralism* ». Il concerne la caractérisation des systèmes de production et effet du croisement Boer sur les mesures corporelles des caprins au Burundi.

La troisième partie étudie **l'influence des organisations paysannes** sous forme de « champ-école-paysans » (CEP) sur l'amélioration de la technicité des agri-éleveurs et sur l'amélioration de la productivité des animaux, afin de recommander ou pas cette approche dans la gestion durable des ressources génétiques animales. Après un bref aperçu bibliographique du concept CEP, cette partie est également composée de deux sections présentées sous formes d'articles. La première section concerne un projet d'article sur l'évaluation de l'efficacité des CEPs dans l'adoption des technologies et l'amélioration de la productivité des vaches laitières en milieu rural de haute altitude du Burundi. La deuxième concerne les résultats d'un article qui a été soumis dans « *Animal* » sur l'évaluation socio-économique de la pertinence des CEPs pour l'amélioration génétique de la chèvre dans les systèmes de petites exploitations en milieu rural burundais. Cet article est en cours de correction pour être accepté.

La quatrième partie concerne les résultats d'un article sur l'estimation des **paramètres génétiques** de croissance et de survie des chevreaux pour déterminer si un programme de sélection serait efficient au sein de cette race. Cet article est accepté pour publication dans « *Animals* ».

Une **discussion générale** des résultats des études menées dans le cadre de cette thèse clôturera notre travail. Nous y présenterons également nos limites et pistes de recherches pour les travaux futurs en rapport avec la gestion durable des ressources génétiques animales au Burundi.

Introduction générale

Contexte de gestion des ressources génétiques animales dans la région humide d'Afrique des grands lacs

Le défi de la gestion des ressources génétiques animales dans la région d'Afrique humide des grands lacs est de produire plus de nourriture pour une population de taille croissante et de le faire d'une manière durable pour les générations futures. La région des grands lacs de l'Afrique orientale dont fait partie le Burundi est caractérisée par un climat humide tempéré par l'altitude (1000-2000 m d'altitude et 7 à 9 mois de saison pluvieuse), globalement favorable à l'agriculture et l'élevage (Getahum, 1994 ; Cochet, 1998). Ces conditions idéales ainsi que l'essor de la médecine humaine¹ auraient été à l'origine d'une forte explosion démographique (Thibon, 1989). Depuis les années 1965 jusqu'à 2005, la population a plus que doublée et le taux de croissance annuel est estimé à 3% (Ansoms et Claessens, 2011).

La pression démographique et l'urbanisation ont entraîné une augmentation de la demande en produits alimentaires que ce soient d'origine végétale et animale (Herrero et Thornton, 2013). Ces facteurs ont en même temps entraîné une concurrence croissante sur les terres disponibles entre l'agriculture et l'élevage, ainsi qu'une surexploitation des terres agricoles. Des espaces réservés à l'élevage extensif des animaux ont été continuellement soit occupés par les cultures vivrières et industrielles, soit défrichés pour l'extension des centres urbains. L'élevage a ainsi été progressivement remplacé par l'agriculture et plus de 70% de cette population dépendent des activités agricoles comme principale mode de survie (Ansoms et Claessens, 2011). Les systèmes d'élevage ont dû s'adapter en diminuant la mobilité et la taille des effectifs d'animaux, en promouvant des programmes de croisement des races locales avec des races exotiques pour compenser la faible productivité des races locales, mais également en adoptant des systèmes beaucoup plus intégrés entre l'agriculture et l'élevage (Thornton et Herrero, 2015 ; Kindu *et al.*, 2014 ; Hendrik *et al.*, 2010).

Cependant, la plupart de ces programmes utilisant les croisements ont eu souvent des résultats non satisfaisants suite à de nombreux facteurs dont l'insuffisance des ressources alimentaires, la contrainte de qualité du matériel génétique, l'insuffisance en infrastructures, les faibles capacités organisationnelles et opérationnelles des institutions vétérinaires locales, le manque de politiques gouvernementales adéquates et de financement pour développer le secteur de l'élevage (Galukande *et al.*, 2013 ; Leroy *et al.*, 2015). En outre, les investissements antérieurs, tant du secteur privé que du secteur public, dans le développement de l'élevage ont été en grande partie fondés sur des projets, sans grand souci de développement à long terme (AU-IBAR, 2015). Toutefois, Leroy *et al.* (2015) ont indiqué que lorsque ces conditions sont remplies, le croisement permet une amélioration rapide de la

¹ Passage d'une situation de fort taux de natalité et fort taux de mortalité à une situation dans laquelle le taux de natalité reste élevé alors que le taux de mortalité diminue fortement.

production et pourrait être considéré comme une voie d'amélioration de la productivité des élevages. Cela nécessiterait cependant une bonne structuration du marché d'écoulement de la production.

Beaucoup de regards se tournent actuellement vers la gestion durable des ressources génétiques locales par la sélection. En effet, les animaux de race locale sont capables de faire face aux conditions souvent défavorables du milieu. L'argument est que les animaux qui manifestent une bonne performance dans un environnement de production difficile devraient être sélectionnés comme futurs reproducteurs. Pour ce faire, des programmes de sélection qui s'appuient sur les communautés locales de petits ruminants émergent dans beaucoup de pays du Sud (Mirkena *et al.*, 2012 ; Mueller *et al.*, 2015). Les petits ruminants sont souvent élevés par des petits producteurs pauvres afin d'assurer leur sécurité financière. Dans les régions humides d'Afrique orientale, c'est principalement la chèvre élevée en système mixte par de petits producteurs qui est prédominante (Ahuya *et al.*, 2005 ; Peacock, 2005). Il reste alors des difficultés associées à cette approche dont le faible niveau d'éducation et de technicité de ces petits agri-éleveurs ainsi que leur niveau de pauvreté, ce qui réduit leur capacité organisationnelle pour la continuité des activités à long terme sans appui externe (Kosgey *et al.*, 2006 ; Wurzinger and Gutierrez, 2017). La non-prise en compte de ces particularités a souvent entraîné la cessation des activités après la phase de recherche, et donc une dilution du progrès réalisé.

Pour gérer durablement les ressources animales dans les pays en développement, il est dès lors très important de considérer les besoins et les stratégies des agri-éleveurs et la place des espèces animales dans ces stratégies ainsi que l'accessibilité aux intrants et l'existence de marché pour améliorer la rentabilité de ces élevages et motiver les agri-éleveurs.

Bref aperçu bibliographique pour la conception d'un programme de sélection en milieu contrôlé versus non contrôlé

La mise en place d'un programme de sélection conventionnel est souvent considérée comme un ensemble complexe de tâches nécessitant un niveau élevé d'organisation. L'enregistrement des données et leur centralisation, l'estimation des « valeurs d'élevage » à l'aide de modèles statistiques complexes et les décisions centrales concernant l'utilisation des reproducteurs mâles sont des ingrédients de ces programmes de sélection (Oldenbroek et van der Waaij, 2015). Dans les pays en développement, les infrastructures de soutien requis sont en grande partie indisponibles, de sorte que les tentatives visant à reproduire les approches des pays développés ont eu peu de succès (Haile *et al.*, 2011).

La première étape pour la mise en place d'un programme de sélection dans les pays à faibles intrants serait alors la caractérisation des systèmes de production qui décrit les conditions socio-économiques et climatiques dans lesquels l'espèce animale en question est élevée. C'est un complexe de plusieurs facteurs qui influencent les performances des animaux et les choix des agri-éleveurs tels

que la localisation géo-climatique elle-même influençant la disponibilité des ressources fourragères et les pratiques d'élevage, la finalité de son élevage, l'accès au marché, l'importance des autres espèces et races utilisées ainsi que celle des autres activités économiques, etc. (FAO, 2012).

Une fois les conditions d'élevage sont bien caractérisées et les objectifs d'élevage bien définis, il reste à décider dans quelle direction la sélection devrait être menée et comment y arriver. Cela constitue la deuxième étape de définition de l'objectif de sélection. L'objectif de sélection combine les caractères d'intérêt que les agri-éleveurs souhaiteraient améliorer ainsi que leurs pondérations économiques (Oldenbroek et van der Waaij, 2015). Pour y arriver, les programmes de sélection conventionnels utilisent souvent des modèles bioéconomiques de l'effet de l'amélioration de ces caractères sur le profit de l'éleveur (Gunia *et al.*, 2013 ; Pravia *et al.*, 2014). Cependant, ces modèles sont reprochés de leur complexité pour les agri-éleveurs à faible niveau d'éducation, mais également de ne pas apporter de véritables objectifs de sélection pour des élevages des petits agri-éleveurs ruraux des pays en développement, qui vont généralement au-delà de la rentabilité et peuvent inclure des considérations économiques, sociales, culturelles, environnementales et d'aversion au risque (Duguma *et al.*, 2010). Plusieurs approches participatives ont été ainsi développées pour définir un objectif de sélection répondant à ces particularités et adapté à l'expertise de l'éleveur, à ses connaissances et préférences (Gizaw *et al.*, 2014 ; Gizaw *et al.*, 2018 ; Duguma *et al.*, 2010). Cependant, il est essentiel que les caractères identifiés par les agri-éleveurs soit héréditaires pour que le programme de sélection apporte un succès.

La troisième étape est la collecte de l'information. Deux types d'information sont collectés. La valeur phénotypique des caractères d'intérêts définis dans l'objectif de sélection et le pedigree des animaux. Le pedigree des animaux renseigne sur les relations d'apparentement des animaux. Les animaux apparentés partagent une proportion de gènes car ils ont en commun un ancêtre (Van Vleck *et al.*, 1987). Ces relations d'apparentement peuvent être utilisées pour estimer la part des performances qui est due à la génétique (potentiel génétique ou valeur d'élevage) et non à l'environnement des animaux candidats à la sélection pour les caractères d'intérêt (Van Vleck *et al.*, 1987). Connaître le pedigree des animaux exige la connaissance des parents de chaque individu. A la naissance, chaque animal devrait avoir un unique numéro d'identification et ses parents devraient être bien connus sans ambiguïté. Cette étape reste exigeant en infrastructures et en temps pour la collecte d'une grande quantité d'informations de qualité sur les performances et le pedigree des animaux, ce qui rend difficile voire même impossible la mise en place du programme de sélection en milieu non contrôlé.

Après la collecte des performances et du pedigree des animaux, la quatrième étape serait l'évaluation de la valeur d'élevage de chaque individu candidat à la sélection. Ainsi, les animaux présentant une bonne valeur d'élevage pourraient être retenus comme parent de la génération suivante. Le plus souvent, le nombre de males à sélectionner sera plus petit par rapport aux femelles puisqu'un

seul mal pourrait saillir plusieurs femelles. La différence entre la moyenne de la population parentale et celle des descendants détermine la réponse à la sélection. Dans les programmes de sélection en milieu non contrôlé, les parents de la génération suivante sont souvent sélectionnés sur base de leur valeur phénotypique (Gizaw *et al.*, 2014).

En outre, il est essentiel de fournir aux agri-éleveurs un espace d'échange et de dialogue pour interagir efficacement avec les chercheurs et les agents de vulgarisation et pour discuter ouvertement de leurs contraintes et soucis sur le programme (Philipsson *et al.*, 2011; De Vries, 2008). Des ateliers devraient être organisés régulièrement pour discuter de chaque étape de la conception et de la mise en œuvre du programme. Différentes formes de formation devraient être envisagées, telles que des ateliers de formation sur les soins de santé, le logement des animaux, l'alimentation et les éléments essentiels de la dynamique du groupe. Ces formations pourraient être mieux soutenues par des démonstrations pratiques sous forme de champs-école-paysans et des visites d'échange d'expérience entre les membres du groupe (Haile *et al.*, 2011). Toutes ces exigences nécessitent une bonne organisation et structuration des associations paysannes.

Enjeux du secteur de l'élevage au Burundi

Du point de vue socio-économique

Le Burundi couvre une superficie de 27.834 km² dont 23.500 km² de terres potentiellement agricoles. (MINEAGRIE/Burundi, 2014). Sa population est estimée à 8 millions d'habitants, avec une densité de 310 hab./km² et une croissance annuelle de 2,4% (Ministère de l'Intérieur, 2010). Cette population est essentiellement rurale (90%) et vit d'une agriculture de subsistance avec peu ou pas d'intrants. Le secteur agricole contribue à raison de 40 à 56% au produit intérieur brut (PIB). Environ 80% de la production est destinée à l'autoconsommation (MINEAGRIE/Burundi, 2014). La diminution progressive de la superficie des exploitations (une moyenne nationale inférieure à 1 ha/ménage) suite à la pression démographique constitue l'une des principales sources d'insécurité alimentaire. Près de 70% de la population vit en dessous du seuil de pauvreté (moins d'un dollar US par jour et par habitant) et 85% des ménages sont quotidiennement en situation de pré-famine (MINEAGRIE/Burundi, 2014).

On estime qu'il y a au Burundi environ 1 752 764 ménages agricoles dont 70% pratiquent l'élevage. Parmi ces derniers, 20% possèdent au moins un bovin, 41% au moins un caprin, 19% au moins un porc, 27% une volaille, ces ménages pouvant avoir des élevages mixtes (MINEAGRIE/Burundi, 2018). L'élevage reste une activité secondaire connexe à l'agriculture et occupe une place importante dans la restauration de la fertilité des terres surexploitées par des doubles récoltes annuelles. En outre, les revenus issus de la vente des animaux et de leurs produits assurent la sécurité financière des ménages. Les productions nationales ont été estimées à 22 000 tonnes de viande

et 70 millions de litres de lait (MINEAGRIE/Burundi, 2010). En tenant compte de ces productions, de la valeur ajoutée du stade post-production et du fumier, la valeur ajoutée de l'élevage a été estimée à 14% du PIB national et 29% du PIB agricole. Cette valeur ajoutée reste cependant insuffisante face aux besoins de la population sans cesse croissante. On estime que 20% de la consommation en viande et 5% de la consommation en lait du pays sont assurées par les importations. La consommation moyenne annuelle par habitant a été estimée à 9,5 litres de lait et 3,5 kg de viande (MINEAGRIE/Burundi, 2010) alors que la moyenne est de 30 litres de lait et 14 kg de viande dans les pays en voie de développement en Afrique (AU-IBAR, 2015).

Au niveau institutionnel, l'encadrement des agri-éleveurs est assuré par les Bureaux provinciaux de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (BPEAE) qui sont des services décentralisés du Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage-MINEAGRIE situés au niveau de chaque province du pays. Au niveau communal se trouvent des techniciens agronomes et vétérinaires assistés par des assistants au niveau zonal. Des agents communautaires de santé animale et des moniteurs agricoles ont été formés et recrutés au niveau collinaire. Cependant, ces services restent peu organisationnels et peu opérationnels pour faire face aux défis du secteur, suite au faible niveau de formation, au désintéressement lié aux faibles salaires et à l'insuffisance des moyens logistiques et financiers alloués aux BPEAE (MINEAGRIE/Burundi, 2014).

Du point de vue géo-climatique

Si des paysages de basse altitude dominent les zones périphériques du pays, des paysages de chaîne de montagnes dominent l'intérieur du pays (Figure 1). Cinq grands ensembles régionaux constituent de l'Ouest vers l'Est les zones agro-écologiques (ZAE) distinctes. Il s'agit de (1) la plaine de l'Imbo située à l'Ouest du pays, (2) les escarpements de Mumirwa avec un relief très marqué à pentes raides dépassant parfois 70%, (3) la crête Congo-Nil, (4) les plateaux centraux et (5) les dépressions de Bugesera et de Kumoso au Nord-Est du pays. Les caractéristiques climatiques ainsi que les atouts et contraintes de ces ZAE pour le développement du secteur de l'élevage sont donnés dans le tableau 1. Le Burundi jouit d'un climat tropical tempéré par l'altitude. Les précipitations moyennes annuelles varient de 800 mm dans les basses altitudes à 2000 mm dans les hautes altitudes.

Outre la densité de la population qui est plus élevée dans les montagnes humides à l'intérieur du pays que dans les régions périphériques (plus de 300 hab./km² vs une densité avoisinant 200 hab./km² dans les dépressions du Nord-Est : Ministère de l'Intérieur, 2010), l'érosion des terres suite à la forte déclinaison des terrains et à l'intensité des pluies concourt à une dégradation intense des terres de cultures et de l'élevage. La production agricole est tributaire des conditions climatiques, avec 3 saisons culturelles dans les montagnes de l'intérieur du pays. Une saison A se déroule de septembre à décembre (courte) et une saison B de février à juin (longue). Une troisième saison (C) peut avoir lieu dans les marais entre juin et octobre. Cependant, les aléas climatiques désorganisent les saisons

agricoles, réduisent les rendements et causent des disettes alimentaires parfois sévères pour les familles rurales (MINEAGRIE/Burundi, 2008).

Les pratiques d'élevage sont influencées par ce contraste climatique. Par exemple, les cultures fourragères sur les courbes de niveaux sont très fréquentes dans les plateaux centraux densément peuplés, où le climat est favorable et les aires de pâturages indisponibles. Ceci permet de nourrir les animaux tout en luttant contre l'érosion. Par contre, dans les régions de basses altitudes, surtout dans le Kumoso, où la période sèche est prolongée, les cultures fourragères ne sont pas intensifiées et des aires de pâturages sont encore relativement disponibles.

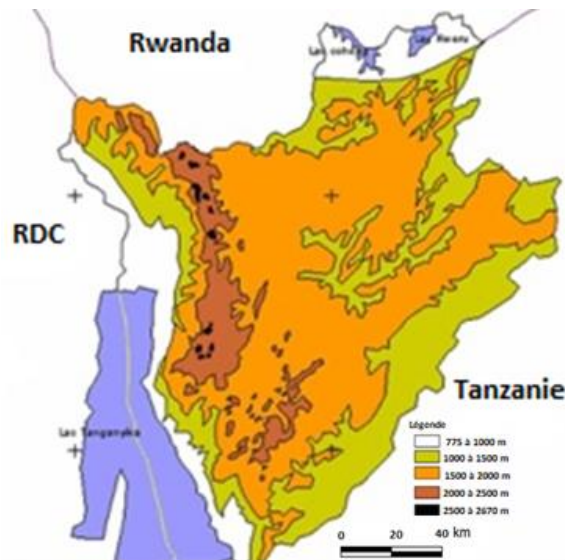


Figure 1: Carte du relief du Burundi (Source: Nzigidahera, 2012)

Tableau 1: Caractéristiques éco-climatiques des zones agro-écologiques et principales contraintes et atouts pour le secteur de l'élevage

Zone agro-écologiques	Altitude(m)	Température(°C)	Pluviométrie (mm)	Saison sèche (mois)	Pourcentage du territoire national	Atouts	Contraintes
Imbo	775 - 1000	>23	800-1100	5-6	7	- Proximité de Bujumbura (principal marché d'écoulement des produits d'élevage)	- Régression des parcours - Saison sèche longue pour l'intensification des cultures fourragères
Mumirwa	1000 -1700	18-28	1100-1900	4-5	10	- Proximité de Bujumbura	- Relief accidenté non favorable à l'élevage en extensif des bovins
Crête Congo-Nil	1700 - 2500	14-15	1300-2000	3-4	15	- Climat favorable à l'élevage - Existence d'aires de pâturages	- Dégradation des aires de parcours
Plateaux centraux	1350-2000	17-20	1200-1500	3-4	52	- Climat favorable à l'intensification des cultures fourragères - Existence des centres urbains et principaux marchés de bétail	- Régression et dégradation des parcours naturels consécutives à la forte pression démographique et l'érosion des sols
Dépressions de Bugesera et de Kumoso au Nord-Est	1125-1400	20-23	1100-1550	5-6	16	- Disponibilité des aires de pâturages dans les dépressions de l'Est	- Saison sèche longue et les termites inhibant le développement des cultures fourragères - Loin des zones de consommations

Nzigidahera, 2012, Hatungumukama *et al.*, 2007.

Dynamique du secteur de l'élevage dans le contexte de la pression démographique et foncière au Burundi

Entre les années 1950 et 1970 (Burundi de la vache et des tambours), l'agriculture et l'élevage au Burundi cohabitaient en équilibre harmonie, les espaces proches des habitations étaient destinés à l'agriculture ; les plus éloignés des habitations, situés généralement au pied des montagnes, constituaient plutôt des zones de pâturages (Cochet, 2001). Cet élevage assurait un rôle essentiel de transfert de fertilité dans les espaces de cultures (Crochet, 1996). Il était basé sur l'espèce bovine essentiellement constituée par la race Ankole à 90%. Le nombre de bovins atteignait 467 000 têtes élevés en système agro-pastoral traditionnel (SAPT) avec une moyenne globale par exploitation de 10 à 30 têtes de bovins détenus par 25% de la population (Hatungumukama et Nahimana, 2013).

Entre les années 1970 et 1993, suite à la croissance démographique, l'extension des terres de cultures aurait augmenté de 50 % au détriment des espaces réservés aux pâturages (Cochet, 2001). Le bétail et le transfert de fertilité associé se faisaient de plus en plus rares dans les exploitations agricoles burundaises. En outre des systèmes de culture se sont progressivement intensifiés par la multiplication des cycles de culture sur une même parcelle, les associations et successions de cultures ainsi que l'intensification de la bananeraie autour de l'habitation « Urugo », qui assurait même jusqu'à nos jours un transfert de fertilité pour la plupart des ménages agricoles sans animaux (Crochet, 1996). L'élevage bovin a été remplacé progressivement par le petit élevage dans les zones densément peuplées. On estime qu'entre 1978 et 1992, le taux de croissance annuel des effectifs bovins aurait été négatif (-3%) contre 7% pour les caprins (Hatungumukama et Nahimana, 2013). Cependant, les épidémies et les crises sanitaires auraient ralenti les progrès des actions de développement des monogastriques. La peste porcine africaine aurait réduit à néant les efforts d'amélioration et d'intensification engagés. La crise de la grippe aviaire aurait porté un coup fatal au développement des élevages intensifs et semi-intensifs de volailles qui s'étaient développés autour des agglomérations (MINEAGRIE/Burundi, 2010). L'autre facteur limitant le développement des monogastriques est lié au fait que leur alimentation soit directement compétitive à celle de l'homme.

A cette époque, le Gouvernement du Burundi (GvB), avec ses partenaires techniques et financiers, avait initié une politique d'élevage répondant à la pression démographique à travers l'introduction des races exotiques plus performantes que la race Ankole. Le Sahiwal fut la première race introduite en 1954 dans la station zootechnique de Mahwa. Par après, les races taurines (en l'occurrence la Frisonne, le Montbéliarde, la Jersey et l'Ayrshire) à haut potentiel de production laitière furent aussi introduites dans les stations. Des croisés (Ankole X Sahiwal ou Ankole X Frisonne et/ou Montbéliarde) furent diffusés dans des exploitations pilotes de la crête Congo-Nil (Hatungumukama *et al.*, 2007). Le GvB avait également encouragé des initiatives visant la promotion de l'intégration du petit élevage à l'agriculture dans les zones des plateaux centraux densément peuplées. Par exemple, le projet caprin de Ngozi visait la promotion de l'élevage des chèvres laitières croisées Alpine dans les régions densément peuplées ; le Centre Universitaire de Recherche sur le Petit Elevage (CURPEL) visait l'amélioration de la productivité des caprins de race locale par sélection. Un réseau national des petits ruminants coordonné par le département des productions animales de la Faculté des Sciences Agronomiques (FACAGRO) de l'Université du Burundi avait été mis en place.

Avec la crise de 1993, toutes ces initiatives ont été annihilées. En 1997, les pertes en têtes de bétail étaient estimées à 32% pour les bovins, 40% pour les caprins, 51% pour les ovins et respectivement 67% et 80% pour les porcins et les animaux de basse-cour (MINEAGRIE/Burundi, 2005). Toutefois, la crise a favorisé une concentration des élevages bovins laitiers aux alentours des centres urbains, ce qui a ainsi stimulé un début de professionnalisation de certains acteurs de la filière lait.

Au sortir de la crise à partir des années 2000, le GvB a initié une politique de repeuplement du cheptel à travers des projets de développement rural financés par ses partenaires techniques et financiers dont principalement le Fonds International de Développement Agricole (FIDA), la Banque mondiale et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Cette politique avait pour objectif de restaurer les capacités productives des ménages pauvres pour les aider à lutter contre l'insécurité alimentaire, tout en atténuant le déficit national en lait et en viande. Elle a principalement concerné les bovins et les caprins. Les bénéficiaires étaient identifiés par des comités de développement collinaire (CDC) composés de 5 membres élus par la population, en collaboration avec les services vétérinaires communaux et les représentants de l'administration locale. Les ménages prioritaires pour les bovins étaient ceux disposant d'au moins 0,5 ha et qui ne possédaient pas de vache pour rentabiliser leurs exploitations (PAIVA-B/Burundi, 2015). Les services vétérinaires provinciaux et les représentants des projets validaient le choix des premiers bénéficiaires. Ceux-ci devaient donner les premiers animaux nés aux seconds bénéficiaires de la liste. Cette chaîne devrait continuer afin de toucher une grande partie de la population. Cet élevage était à petite échelle car il s'adressait à des ménages agricoles ayant accès à des superficies d'exploitation réduites. Il fallait donc que les animaux introduits aient un potentiel génétique élevé, une alimentation équilibrée et un suivi vétérinaire de proximité. Ainsi, ce sont des génisses (dits de 3/4 frisons) et des taureaux géniteurs (dits de 7/8 frisons) qui ont repeuplé le cheptel bovin. En ce qui concerne les caprins, des chèvres de race naine d'Afrique de l'Est ont été importées massivement ainsi qu'un nombre restreint de boucs de sang Boer. Les ménages bénéficiaires possédaient des exploitations inférieures ou égales à 0,5 ha. Un ménage recevait 3 femelles de chèvres reproductrices naines tandis que quelques boucs de sang Boer étaient placés sur quelques collines. La chaîne de solidarité a été mise en place comme chez les bovins, mais elle n'a pas bien fonctionné car les chèvres étaient facilement vendues (MINEAGRIE/Burundi, 2014). Le repeuplement du cheptel a été l'occasion de vulgariser les cultures fourragères et de favoriser un système d'intégration agro-sylvo-zootechnique (IASZ) adapté au contexte de pression foncière et permettant de valoriser de façon rationnelle les exploitations de petite taille (Figure 2). Cette politique a été aussi l'occasion de renforcer la cohésion sociale par le remboursement des animaux à travers la Chaîne de Solidarité Communautaire (CSC).



Figure 2: Formes d'intégration des cultures fourragères dans les champs (sur courbe de niveau ou en champ pur) permettant la stabulation permanente des animaux

Grace à cette politique de repeuplement du cheptel, les populations caprines se sont reconstituées le plus rapidement. De 2000 à 2017, le taux de croissance annuel aurait été, pour se limiter juste aux ruminants, de 16% pour les caprins contre 12% pour les bovins (Figure 3). Cependant, en raison de l'absence des recensements et de suivi des paramètres démographiques des animaux, la situation sur les effectifs reste imprécise et les chiffres sont à considérer avec réserve. Malgré l'importance numérique des caprins sur les bovins, la politique de développement du secteur s'est tournée vers l'élevage bovin et le renforcement de la filière lait (MINEAGRIE/Burundi, 2010 ; Desiere, *et al.*, 2015). C'est notamment le cas de la structuration des organisations paysannes de type « champs-école-paysans-CEP » centrées sur l'élevage bovin laitier, de la mise en place des centres de collecte du lait et d'une unité moderne de transformation et commercialisation du lait dans la capitale du pays. Ces initiatives ont été pilotées par les projets de développement rural dans le but de structurer une filière laitière.

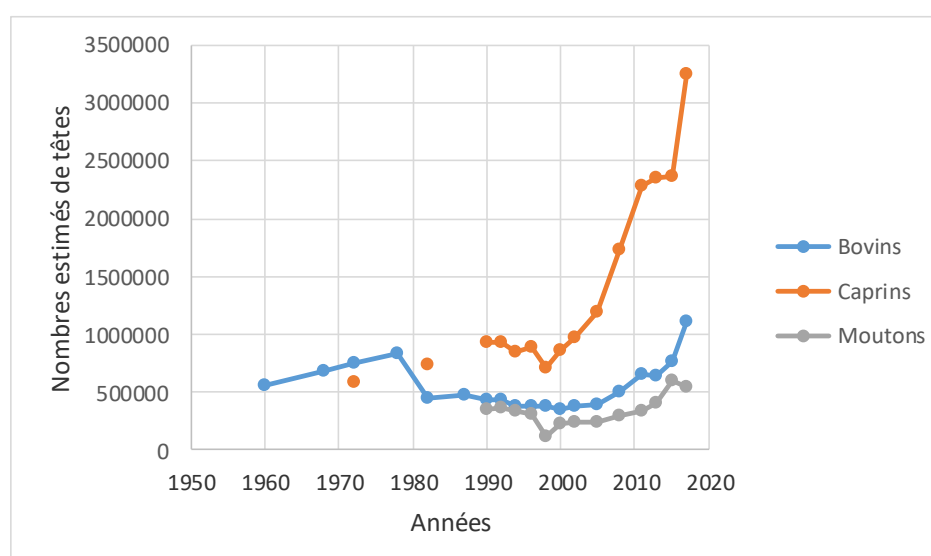


Figure 3: Evolution des effectifs de ruminants au Burundi : Direction générale de l'élevage (DGE) et institut de statistiques et d'étude économiques du Burundi (ISTEEBU)

Problématique, enjeux et objectifs de la thèse

Problématique

La mise en œuvre des mesures pour repeupler le cheptel et pour améliorer le potentiel génétique des ruminants en milieu rural burundais n'a pas été accompagnée par la mise au point d'une structure de contrôle et de gestion rationnelle des risques, ni par une stratégie à long terme pour la conservation des races locales. Actuellement, les agri-éleveurs méconnaissent les races (et leurs croisements) et aucun programme raisonné et concerté d'amélioration et gestion durable des ressources génétiques animales n'est installé dans le pays. L'élaboration d'un plan d'action pour la gestion et l'amélioration des ressources génétiques s'avère donc une nécessité. Cependant, il a été montré dans les pays moins développés, que la gestion durable des ressources génétiques animales nécessite une prise en compte des paramètres socio-économiques et écologiques dans lesquels l'espèce animale en question est élevée (Haile *et al.*, 2011 ; Wurzinger *et al.*, 2011). Pour le cas du Burundi, ces paramètres se rapporteraient notamment à la place de l'élevage dans les stratégies des agri-éleveurs pour la gestion de leur survie, à leurs motivations dans le choix des espèces et races animales à élever et aux pratiques d'élevage qui sont souvent imposées par les conditions éco-climatiques du milieu et la disponibilité des ressources pastorales. La prise en compte de ces paramètres nous amène à aborder le sujet au-delà des aspects zootechniques et d'y intégrer la notion de durabilité² dans un contexte socio-économique et écologique du milieu rural burundais. Cela conduit à focaliser nos recherches sur deux espèces animales (bovine et caprine) de par leur importance et leurs interactions dans la stratégie des ménages pour assurer leur survie. Au niveau global, les ruminants sont perçus comme disposant des potentialités nécessaires pour améliorer la productivité globale de tout le système productif (y compris l'agriculture) et pour répondre à la demande croissante des produits d'origine animale (Tarawali *et al.*, 2011).

Enjeux

Les enjeux liés à une gestion durable des ressources génétiques bovine et caprine au Burundi sont :

- L'augmentation de la productivité des animaux pour lutter contre la pauvreté des ménages tout en atténuant le déficit national en produits d'origine animale ;
- La pérennisation des élevages dans le contexte de la pression foncière du milieu rural ;
- La préservation, conservation et amélioration des races locales.

² Pour être durable un système agricole devrait être économiquement viable, socialement acceptable et sain au niveau environnemental (au niveau de l'exploitation et au niveau de tout le système de production) (Hendrik *et al.*, 2010)

Objectifs

Cette thèse intitulé « Paramètres génétiques des ruminants et typologie socioéconomique des élevages en milieu rural Burundais » s'inscrit dans le contexte décrit ci-haut. Notre motivation est de contribuer à fournir les bases scientifique et technique nécessaire pour gérer durablement les ressources génétiques animales du Burundi. A cette fin, l'objectif global est de mieux comprendre les possibles interactions qui existent entre les performances des animaux et l'environnement physique et socioéconomique du monde rural, en mettant en évidence la façon dont elles affectent la gestion durable des espèces animales considérées. Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes posé les questions suivantes. (1) L'amélioration de la productivité des animaux par le croisement a-t-elle contribué significativement à l'amélioration de leurs performances? (2) Quelle est l'efficacité des organisations paysannes pour améliorer la productivité des animaux et la gestion durable des ressources génétiques animales? (3) Est-il possible de promouvoir l'utilisation et la conservation des races locales en milieu rural burundais ? Au-delà de ces interrogations, la question centrale à laquelle nous cherchons une réponse est libellée comme suit : *Dans un pays à forte pression foncière et de pauvreté rurale, comment améliorer la productivité des élevages pour lutter contre la pauvreté tout en préservant les ressources animales pour leur utilisation future ?* L'hypothèse initiale est que, l'animal faisant partie intégrante du système de production de petites exploitations agricoles de subsistance qui disposent de leur propre mode de gestion de la survie, toute intervention dans ce système devait tenir compte des priorités des agri-éleveurs et être économiquement viable.

Les **objectifs spécifiques** de notre travail consistent à :

1. Décrire les systèmes d'élevage bovin et caprin et l'effet des croisements sur l'amélioration des performances des animaux.
2. Evaluer la pertinence de l'encadrement technique des agri-éleveurs via les associations paysannes de type champs-école-paysans (CEP) visant à renforcer leurs capacités productives et à mettre en place un programme de sélection de la chèvre locale. Il sera question de :
 - i. Evaluer l'impact des CEPs sur l'amélioration des performances économiques des élevages bovins et caprins;
 - ii. Comprendre les enjeux socio-économiques majeurs pouvant entraver la mise en place d'un programme de sélection ;
 - iii. Identifier les caractères d'intérêt économique à améliorer.
3. Estimer les paramètres génétiques de la chèvre locale en milieu villageois burundais, afin de déterminer si la sélection au sein de cette race locale serait bénéfique.

Références

- African Union – Inter-african Bureau For Animal Resources (AU-IBAR). 2015. The Livestock Development Strategy for Africa 2015-2035. Nairobi, Kenya, p 138.
- Ahuya C.O., Okeyo A.M., Mwangi N. and Peacock C. 2005. Developmental challenges and opportunities in the goat industry: The Kenyan experience. *Small Ruminant Research*, 60, 197-206.
- Ansoms A. and Claessens K. 2011. Land relations and local livelihoods in the Great Lakes Region. In *Natural Resources and Local Livelihoods in the great Lakes Region of Africa*. Palgrave Macmillan, London, 3-25.
- Cochet H. 2001. Capacité d'innovation des systèmes paysans et gestion des ressources naturelles au burundi. Karthala Editions, Paris, 19 p.
- Cochet, H., 1998. Burundi : quelques questions sur l'origine et la différenciation d'un système agricole. *African Economic History*, 26, 15-62.
- Cochet H. 1996. Gestion paysanne de la biomasse et développement durable au Burundi. *Cahiers des Sciences Humaines*, 32, 133- 151.
- De Vries J. 2008. Goats for the poor: Some keys to successful promotion of goat production among the poor. *Small Ruminant Research* 77, 221-224.
- Desiere S., Niragira S. and D'Haese M. 2015. Cow or Goat? Population pressure and livestock keeping in Burundi. *Agrekon*, 54, 23-42.
- Duguma G., Mirkena T., Haile A., Okeyo A.M., Tibbo M., Rischkowsky B., Sölkner J. and Wurzinger M. 2010. Participatory approaches to investigate breeding objectives of livestock keepers. *Livestock Research for Rural Development*, 22, 64.
- FAO 2012. Phenotypic characterization of animal genetic resources. *FAO Animal Production and Health Guidelines* No. 11. Rome.
- Galukande E., Mulindwa H., Wurzinger M., Roschinsky R., Mwai A.O. and Sölkner J. 2013. Cross-breeding cattle for milk production in the tropics: achievements, challenges and opportunities. *Animal Genetic Resources*, 52, 111-25.
- Getahun A. 1990. Tropical African mountains and their farming systems in *Proceeding of International Workshop on Mountain Agriculture and Crop Genetic Resources*, Kathmandu, New Delhi, 105-124.
- Gizaw S., Goshme S., Getachew T., Haile A., Rischkowsky B., Van Arendonk J., Valle-Zarate A. Dessie T. and Mwai O.A. 2014. Feasibility of pedigree recording and genetic selection in village sheep flocks of smallholder farmers. *Tropical Animal Health and Production*, 46, 809-814.
- Gizaw S, Abebe A, Bisrat A, Zewdie T and Tegegne A 2018. Defining smallholders' sheep breeding objectives using farmers trait preferences versus bio-economic modelling. *Livestock Science* 214, 120–128.
- Gunia M., Mandonnet N., Arquet R., Alexandre G., Gouridine J.L., Naves M., Angeon V. and Phocas F. 2013. Economic values of body weight, reproduction and parasite resistance traits for a Creole goat breeding goal. *Animal*, 7, 22-33.
- Haile A., Wurzinger M., Mueller J., Mirkena T., Duguma G., Mwai O., Sölkner J. and Rischkowsky

B. 2011. Guidelines for Setting up Community-based Sheep Breeding Programs in Ethiopia. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA- - tools and guidelines No.1. Aleppo, Syria, p 37.

Hatungumukama G. et Nahimana V. 2013. Dynamique et performances des systèmes d'élevage au Burundi. In Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). Premiers actes du colloque sur les états généraux du secteur de l'élevage au Burundi. République du Burundi: Bujumbura, 233 p.

Hatungumukama G., Hornick J.L. et Detilleux J. 2007. Aspects zootechniques de l'élevage bovin laitier au Burundi : présent et futur. Annales de Médecine Vétérinaire, 151, 150-165.

Hendrik M., Udo J. and Steenstra F. 2010. Intensification of smallholder livestock production, is it sustainable ? The 5th International Seminar on Tropical Animal Production, Yogyakarta, Indonesia, 19-26.

Herrero M. and Thornton P.K. 2013. Livestock and global change : Emerging issues for sustainable food systems. Prossessing of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110, 1-4.

Kindu M., Duncan A.J., Valbuena D., Dagnachew L., Mesfin B., and Gedion J. 2014. Intensification of Crop–Livestock Farming Systems in East Africa: A Comparison of Selected Sites in the Highlands of Ethiopia and Kenya. In Challenges and opportunities for agricultural intensification of the humid highland Systems of sub-Saharan Africa. Springer Cham, 19-28.

Kosgey I.S., Baker R.L., Udo H.M.J. and Van Arendonk J.A.M. 2006. Successes and failures of small ruminant breeding programs in the tropics: A review. Small Ruminant Research, 61, 13-28.

Leroy G., Baumung R., Boettcher P. and Hoffmann I. 2015. Review : Sustainability of crossbreeding in developing countries ; definitely not like crossing a meadow. Animal, 10, 262-273.

Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2014. Etats généraux de l'Agriculture et de l'Elevage du Burundi. République du Burundi, Bujumbura, 158 p. [en ligne] (sans date) <http://bi.chm-cbd.net/chm-burundais/pfinstitut/direction-des-eaux-de-la-peche-et-de-l-aquaculture/etats-generaux-de-l-agriculture-et-de-l-elevage-egae-edition-2014/download/fr/1/Rapport-etats-generaux-2014.pdf> . Consulté le 27/04/2019.

Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2008. Stratégie Agricole Nationale 2008-2015. République du Burundi, Bujumbura, 27 p. [en ligne] (sans date) <http://bi.chm-cbd.net/implementation/programmes-thematiques/biodiversite-agricole-1/strategies-programmes-et-plans/strategie-nationale-agricole-duburundi.pdf/download/en/1/Strat%C3%A9gie%20Nationale%20Agricole%20du%20Burundi.pdf> . Consulté le 07/06/2019.

Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2018. Enquête nationale agricole du Burundi. Campagne 2016-2017. République du Burundi, Bujumbura, 131 p. <http://www.minagrie.gov.bi/index.php/2013-01-31-07-20-51/233-enquete-nationale-agricole-du-burundi-campagne-2016-2017> . Consulté le 02/07/2019.

Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2010. Stratégie Agricole Nationale. Document d'orientation stratégique pour le secteur de l'Elevage au Burundi. République du Burundi, Bujumbura, 117 p.

Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2005. Rapport national sur l'état des ressources génétiques animales au Burundi. République du Burundi, Bujumbura, 57 p.

Ministère de l'Intérieur. 2010. Recensement général de la population et de l'habitat du Burundi 2008. Etat et structures de la Population. République du Burundi, Bujumbura, 87 p. [en ligne] (sans date) <https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1866/2008%20Burundi%20Population%20Survey%20Status%20and%20Structure%20of%20Population.pdf>. Consulté le 27/04/2019.

Mirkena T., Duguma G., William A., Wurzinger M., Haille A., Rischkowsky B., Okeyo A.M., Tibbo M. and Solkner J. 2012. Community-based alternative breeding plans for indigenous sheep breeds in four agro-ecological zones of Ethiopia. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 129, 244-253.

Mueller J.P., Rischkowsky B., Haile A., Philipsson J., Mwai O., Besbes B., Valle Zárate A., Tibbo M., Mirkena T., Duguma G., Sölkner J. and Wurzinger M. 2015. Community-based livestock breeding programmes: Essentials and examples. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 132, 155-168.

Nzigidahera B. 2012. Description du burundi: Aspects physiques. Ministère de l'eau, de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme.

Oldenbroek K. and van der Waaij L. 2015. Textbook Animal Breeding and Genetics for BSc students. Centre for Genetic Resources. The Netherlands and Animal Breeding and Genomics Centre, Groen Kennisnet, <https://wiki.groenkennisnet.nl/display/TAB/>. Peacock C 2005. Goats - A pathway out of poverty. *Small Ruminant Research*, 60, 179-186.

Philipsson J., Rege E.O. Zonabend E. and Okeyo A.M. 2011. Sustainable breeding programmes for tropical low- and medium input farming systems. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya 35p.

Peacock C 2005. Goats - A pathway out of poverty. *Small Ruminant Research*, 60, 179-186.

Pravia M.I., Ravagnolo O., Urioste J.I., Garrick D.J. 2014. Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay. *Livestock science* 160, 21-28.

Projet d'appui à l'intensification et à la valorisation agricoles du Burundi (PAIVA-B). 2015. Rapport des réalisations de 2014. Bujumbura, 156 p. <http://www.programmefidaburundi.org/wp-content/uploads/2017/05/Rapport-annuel-2014.pdf>

Tarawali S., Herrero M., Descheemaeker K., Grings E. and Blümmel M. 2011. Pathways for sustainable development of mixed crop livestock systems: Taking a livestock and pro-poor approach. *Livestock Science* 139: 11-21.

Thibon C. 1989. L'expansion du peuplement dans la région des Grands Lacs au XIX^e siècle. *Revue canadienne des études africaines*, 23, 54-72.

Thornton P.K. and Herrero M. 2015. Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in sub-Saharan Africa. *Nature climate change*, 5, 830-836.

Van Vleck L.D. Pollak E.J. Brranford Oltenacu E.A. 1987. Genetics for the animal sciences. Freeman and Company, New York, 391p.

Wurzinger M. and Gutierrez G. 2017. Analysis of a multi-stakeholder process during the start-up phase of two community-based llama breeding programs in Peru. *Livestock Research for Rural Development*, 29, 10.

Wurzinger M., Sölkner J. and Iñiguez L. 2011. Important aspects and limitations in considering community-based breeding programs for low-input smallholder livestock systems, *Small Ruminant Research*, 98, 170-175.

**Partie I. Etat des lieux des élevages bovin et caprin et effet
des croisements Frison et Boer sur l'amélioration des
performances des animaux**

Préambule

Cette partie concerne la caractérisation phénotypique et génétique des bovins et des caprins et de leurs systèmes de production en milieu rural burundais. Elle constitue une étape préliminaire à l'élaboration d'un plan de gestion et d'amélioration des ressources génétiques animales.

- IA : une brève cartographie des systèmes d'élevage bovin selon les conditions agro-climatiques du pays,
- IB : la caractérisation génétique et l'effet du croisement Frison sur la production laitière des croisés Ankole x Frisonne en milieu rural de haute altitude du Burundi est communiquée (article publié dans « *Animal genetics* »),
- IC : la caractérisation phénotypique des caprins et de leurs systèmes de production selon les conditions écologiques du milieu rural burundais et l'effet du croisement Boer sur les performances des caprins (article accepté pour publication dans « *Pastoralism* »),
- ID : une conclusion partielle.

IA. Cartographie des systèmes d'élevage bovin en milieu rural burundais

Dans le but de planifier une étude de caractérisation fine des bovins en milieu rural burundais, un atelier de réflexion sur la gestion durable des ressources génétiques animales a été organisé avec les différents partenaires du secteur de l'élevage. Les participants à cet atelier étaient les membres du comité national consultatif des ressources génétiques animales, le directeur général de l'élevage, les cadres du centre national d'insémination artificielle, les représentants des services vétérinaires aux bureaux provinciaux de l'Environnement de l'Agriculture et de l'Elevage, les représentants des unités de transformation du lait, les coordonnateurs des projets et programmes impliqués dans le secteur de l'élevage et les chercheurs. Cet atelier a permis d'identifier et de localiser de manière sommaire les ressources génétiques et leurs systèmes de production. Au cours de cet atelier, les participants ont rapporté que la race Ankole est en régression bien que l'on puisse encore la retrouver dans les régions de Kumoso (en particulier dans la province de Cankuzo, dans les dépressions de l'Est) et de Mugamba (sur la Crête-Congo-Nil). Ils ont également indiqué que la localisation géographique des animaux croisés (avec des races exotiques) est étroitement liée aux différents projets d'amélioration génétiques initiés par le gouvernement. Ainsi, les croisés Ankole x Sahiwal et ou Montbéliarde sont localisés dans la province de Bururi (plus précisément dans les communes proches de la station de l'ISABU Mahwa : sur la Crête-Congo-Nil) et dans les communes Gisozi (autour de la station Gisozi : sur la Crête-Congo-Nil) et Gihofi (autour de la station Moso : dans les dépressions de l'Est). Ces animaux sont généralement soumis au système extensif traditionnel. Les croisés frisons sont présents dans presque toutes les zones d'intervention des projets de repeuplement du cheptel. Les critères imposés et les contrats avec les bénéficiaires les obligent à garder les animaux en stabulation ou en semi-stabulation et à installer des cultures fourragères sur les courbes de niveaux (système d'intégration agro-sylvo-

zootechnique). Ces projets ont été menés principalement dans les zones des montagnes humides pour faciliter l'intégration du programme de repeuplement du cheptel aux autres interventions menées dans le domaine agricole. L'origine génétique et le niveau de croisement des animaux est peu connu. Les bovins croisés Frison x Ankole en système extensif sont présents dans la région de l'Imbo Nord (Rugombo). Les ceintures péri-urbaines de Bujumbura et Gitega hébergent des bovins ayant une proportion élevée de frison (ou pur frison) et soumis à un système intensif laitier. Les animaux de race Ayrshire (quelques têtes autour de l'ISABU Mahwa), Brune suisse (quelques têtes autour de l'ISABU Mparambo dans l'Imbo) et Jersey (Dépressions du Nord-Est) ont été introduits en effectifs très réduits et tendent à disparaître du sol burundais.

Collecte des données

Les résultats de cet atelier nous ont servi de base pour mener une enquête exploratoire dans 201 exploitations bovines, entre le 12 décembre 2013 et le 6 février 2014. Les données ont été collectées par une équipe de 3 enquêteurs sous la supervision de l'auteur de cette thèse.

Un premier échantillonnage provisoire des zones à visiter a été réalisé (échantillonnage raisonné), sur base de la localisation géographique des groupes génétiques et des systèmes d'élevage établie lors de l'atelier. Des entretiens avec les personnes ressources des services vétérinaires dans les zones pré-échantillonnées nous a permis de « peaufiner » ce premier échantillonnage. Par exemple, grâce aux indications des techniciens vétérinaires qui nous conduisaient dans les collines où la concentration animale était élevée, où les projets de repeuplement ont beaucoup opéré. Les agents communautaires en santé animale mettaient 3 ou 5 ménages de ces collines en contact avec l'équipe du projet qui serait sur le terrain. Ces ménages mettaient ensuite en contact l'équipe avec les autres ménages. La taille de l'échantillon sur chaque site était déterminée par diverses contraintes opérationnelles, par exemple, le temps et les ressources disponibles.

Un questionnaire a été proposé aux agri-éleveurs (Annexe 1). Les éléments portaient sur (i) les systèmes d'élevage bovin : la principale finalité, le mode de conduite, la taille du troupeau, les types génétiques élevés et préférés, le mode d'alimentation, le logement, le suivi sanitaire et la gestion de la reproduction et (ii) leur niveau de production : production laitière moyenne journalière par trimestre de lactation et production annuelle du fumier par animal adulte. La quantité de lait trait a été estimée sur base des déclarations des éleveurs et sur les unités de mesure utilisées localement (ex., petits seaux de 1 ou 2 litres). La production de fumier a été estimée (en collaboration avec les agri-éleveurs) sur base de la fréquence de récolte du fumier dans l'étable, du nombre de trajets nécessaires au transport dans les champs et sur la quantité transportée par trajet. Elle a ensuite été convertie en tonnes produites par animal et par an. Les données ont été analysées de manière descriptive : moyennes, écarts-types et fréquences dans le logiciel R (R64 3.5.1).

Principaux résultats

Les résultats de cette étude ont révélé l'existence de trois systèmes d'élevage principaux, d'importance inégale selon les cinq zones agro-écologiques du pays (Figure 1).

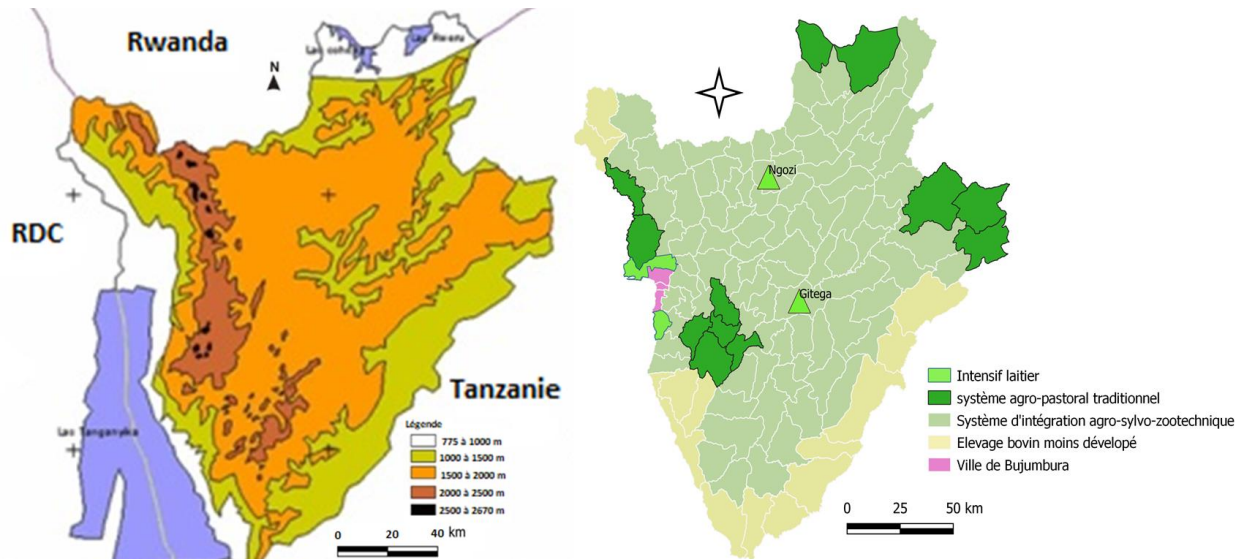


Figure 1 : Carte du relief du Burundi (Nzigidahera, 2012) et cartographie des systèmes d'élevage bovins en fonction des conditions éco-climatiques (établie par l'auteur à partir des résultats de l'atelier avec les parties prenantes et des visites sur terrain)

Un premier système est le système agro-pastoral traditionnel (APT). Il est caractérisé par le gardiennage des animaux durant une grande partie de la journée, lorsque les animaux sont dans les pâturages naturels. Les animaux sont rentrés à l'étable le soir. Ce système a été surtout observé dans des régions les moins peuplées du pays. Les agri-éleveurs élèvent principalement les animaux (principalement des croisés Ankole X Sahiwal) pour produire du fumier (Mugamba) ou pour constituer une épargne sur pied (Kumoso et Imbo). Ils auraient préféré cependant, surtout dans l'Imbo (65%), avoir un animal à haut potentiel laitier (seulement ceux de Kumoso et Mugamba (67 et 63%) appréciaient plus les animaux de race locale pour leur rusticité). Les productions de fumier et de lait étaient plus faibles que celles signalées dans les autres systèmes de production (Tableaux 1 et 3). Pour expliquer ces faibles rendements, plus de 70% des agri-éleveurs mentionnaient que le fourrage des parcours naturels ne suffit pas pour l'alimentation de leurs animaux. En effet, la saison sèche est relativement longue dans les régions de Kumoso et de l'Imbo, ce qui limite le développement optimal des cultures fourragères. Les pâturages de Mugamba quant à eux sont dominés par *Elagrostis olicacea* qui est une espèce à faible valeur alimentaire et indicatrice d'une acidité élevée des sols (Nivyobizi *et al.*, 2010).

Le système d'intégration agro-sylvo-zootecanique (IASZ) est caractérisé par la présence de cultures fourragères et des croisés frisons-zébus. Ce système résulte des interventions des services d'élevage et des projets de développement rural lors du repeuplement du cheptel. Comme dans le système APT, la majorité (89%) des agri-éleveurs auraient préféré les animaux à haut potentiel laitier

même si la production laitière moyenne est plus élevée que dans le système APT (Tableaux 1 et 3). Ce système a été principalement identifié dans les zones densément peuplées d'altitude là où le besoin en fumier est critique à cause de la surexploitation et de la dégradation intenses des terres par les cultures. Selon les agri-éleveurs, le manque de moyens financiers pour s'approvisionner en intrants ainsi que les méventes et/ou l'écoulement du lait à un prix non rémunérateur étaient les contraintes majeures pour améliorer la productivité de cet élevage. De plus, l'absence d'électricité et l'éloignement des zones de consommation (zones urbaines) font que le lait du soir n'est pas commercialisé. Parmi ces agri-éleveurs, seulement 45% étaient reliés à un système de collecte du lait et 60% mentionnaient des pertes de lait régulières suite à l'absence du marché.

Le système intensif laitier (IL) s'est surtout développé à partir de 1993³ autour des grandes villes (Bujumbura, Gitega et Ngozi), là où la demande en lait frais était élevée, d'où la prédominance des animaux croisés. C'est le système le plus performant du point de vue de la productivité laitière (Tableau 3). Le système a cependant des limites. La majorité des éleveurs étaient des fonctionnaires (sans terre) qui devaient acheter le fourrage à l'extérieur. De plus, ils (plus de 50% des éleveurs) ne pouvaient écouler leur lait que dans les ménages et les cafeterias situés dans la ville de Bujumbura et 20% d'entre eux se plaignaient de l'absence de la chaîne du froid due à la faible couverture de courant électrique.

Le système IASZ est donc à « l'intersection » entre les systèmes IL et APT. Il est moins exigeant en espaces pastoraux et plus productif en lait et en fumier que le système APT. Il est aussi moins intensif et localisé que le système IL qui est plutôt un « marché de niche ». Dès lors, il a été décidé d'étudier plus finement les effets de l'ascendance taurine européenne sur la production laitière de bovins laitiers croisés Ankole-Holstein dans le système IASZ.

Tableau 1 : Caractéristiques des différents systèmes d'élevage bovin au Burundi

Système de production	Localisation géographique (zone agro-écologique)	Nombre d'éleveurs	Taille du troupeau	Finalité principale (%)			Fumier (tonnes/ animal/an)
				Fumier	Lait	Epargne	
APT ¹	Kumoso (DNE ⁴)	18	6,9 ± 5	30	0	70	2,6 ± 0,2
	Mugamba (CCN ⁵)	27	6,8 ± 5	100	0	0	6,9 ± 0,4
	Imbo (Imbo)	20	17,6 ± 8	10	20	70	1,5 ± 0,3
IASZ ²	Régions humides et d'interventions des projets (PLC ⁶ et CCN)	102	2,8 ± 2	82	18	0	7,1 ± 0,8
IL ³	Autour des villes	34	14,8 ± 6	0	100	0	6,6 ± 0,8
Moyenne		201	9,8±6	44	28	28	5±0,5

Source : Résultats de l'enquête ; 1 système agro-pastoral traditionnel ; 2 système d'intégration agro-sylvo-zootechnique ; 3 système intensif laitier ; 4 Dépressions du Nord Est ; 5 Crête-Congo-Nil ; 6 Plateaux centraux.

³ Ce système avait initialement pour objectif de protéger les animaux contre l'insécurité liée à la guerre de 1993

Tableau 2 : Importance relative des groupes génétiques identifiés et leurs préférences selon les systèmes d'élevage et les régions

Système de production	Localisation géographique	Types génétiques élevés (%)			Préférences pour les types génétiques (%)		
		Ankole X Sahiwal	Croisés Frisons	Race locale	Croisés	Race locale	Aucune
APT	Kumoso (DNE)	32	-	68	22	67	11
	Mugamba (CCN)	60	15	25	15	63	22
	Imbo	66	21	13	65	25	10
IASZ	Régions humides et d'interventions des projets	11	85	4	89	6	5
IL	Autour des villes	3	97*	-	95	5	-
Moyenne		34	44	22	57	33	10

Source : Résultats de l'enquête ; * : Croisés frisons avancés

Tableau 3 : Performances de reproduction et de production laitière des différents types génétiques

Système d'élevage	Type génétique	Nombre d'animaux	Age au premier vêlage (mois)	Intervalle entre vêlages (mois)	Production laitière au premier trimestre (litres/jour)	Production laitière au second trimestre (litres/jour)	Production laitière au troisième trimestre (litres/jour)
APT	Ankole	17	39	28	2,4 ± 1,6	1,4 ± 1,0	0,5 ± 0,1
	Ankole x Sahiwal	56	34	15	2,9 ± 2,0	1,9 ± 1,3	1,0 ± 0,8
	Ankole x Frison ¹	19	31	18	4,3 ± 3,0	3,4 ± 2,1	2,6 ± 1,8
IASZ	Frison x Zébu	91	25	15	6,6 ± 3,6	4,6 ± 3,2	2,4 ± 2,0
	Ayrshire x Sahiwal	13	34	16	8,4 ± 3,0	6,2 ± 2,4	3,4 ± 2,5
	Sahiwal x Montbéliarde	16	38	20	5,4 ± 1,8	3,8 ± 1,7	2,2 ± 1,7
IL	Frisonnes pures	25	23	13	12,6 ± 2,3	10,4 ± 2,5	5,8 ± 3,1
	Croisés frisons (>70%)	82	25	15	10 ± 5,5	7,5 ± 4,8	3,7 ± 2,5
Total		319	31	18	6,6 ± 2,9	4,9 ± 2,4	2,7 ± 1,8

Source : Résultats de l'enquête; ¹avec ou sans Sahiwal ; ± : déviation standard

Ces résultats ont été obtenus lors des interviews des agri-éleveurs et sont donc à considérer avec réserve. A titre comparatif, des résultats trouvés dans la littérature pour les élevages des régions humides de l'Afrique de l'Est sont donnés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Performances de reproduction et de production laitière des différents types génétiques et références

Système d'élevage	Type d'élevage	Age au premier vêlage (mois)	Intervalle entre vêlages (mois)	Production laitière (litres/jour)	Source
Ankole	Système extensif milieu rural Burundi	24-36	18-24	2,7 1,3*	Pozy et Munyakazi, 1984 *Wurzinger <i>et al.</i> , 2006
	Station zootechnique de Mahwa (Burundi)	54	23	2,5	Chapaux <i>et al.</i> , 2012
	Système extensif Rwanda	30 (18-36)*	19 (16-24)*	1,5 - 1,8	Manzi <i>et al.</i> , 2018 *Wurzinger <i>et al.</i> , 2006
	Système extensif Uganda	27 (18-42)*	17 (12-24)*	2,2	Galukande <i>et al.</i> , 2008 *Wurzinger <i>et al.</i> , 2006
	Système extensif Tanzanie	39 (21-62)	15 (12-24)	2	Wurzinger <i>et al.</i> , 2006
	Système extensif RDC	38	22	2,4	Kibwana <i>et al.</i> , 2012
Ankole X Sahiwal	Plaine de l'Imbo Burundi	38	14	3,3	Pozy, 1984
	Station zootechnique de Mahwa (Burundi)	40	15	3,9	Hatungumukama <i>et al.</i> , 2007
Frisonne X Zébus	Système mixte en semi-stabulation: Milieu rural Tanzanie	-	14	6,5	Bee <i>et al.</i> , 2006
	Station Rwanda	-	18	8,6	Manzi <i>et al.</i> , 2018
	Système mixte en semi-stabulation: Milieu rural Ethiopie	34	14	-	Ibrahim <i>et al.</i> , 2011
	Système mixte en semi-stabulation: Milieu rural RDC	30	17	5,2	Kibwana <i>et al.</i> , 2012
	Système IASZ: exploitations dites modernes milieu rural Burundi	26	18	15	Chapaux <i>et al.</i> , 2012
Station de Mahwa		35	17 - 45	8,7	Hatungumukama <i>et al.</i> , 2008

Références

- Bee J.K.A., Msanga Y.N. and Kavana P.Y. 2006. Lactation yield of crossbred dairy cattle under farmer management in Eastern coast of Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*, 18, 2.
- Chapaux P., Knapp E., Ngiyimbere S., Gacoreke S., Manyange H., Bertozzi C., Hornick J.L. 2012. Reproduction et production laitière de bovins sélectionnés ou de races locales au Burundi. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 19, 292.
- Galukande E., Mulindwa H., Wurzinger M., Mwai A.O., Mpairwe D., Sölkner J. 2008. On-farm Comparison of milk production and growth of purebred Ankole and Crossbred Friesian–Ankole Cattle in South-Western Uganda. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, University of Hohenheim, Tropentag, Uganda, 7-9 Oct. 2008.
- Hatungumukama G., Hornick J.L. and Detilleux J. 2007. Aspects zootechniques de l'élevage bovin laitier au Burundi : présent et futur. *Annales de Médecine Vétérinaires*, 151, 150-165.
- Hatungumukama G., Leroy P. and Detilleux J. 2008. Non genetic effects on daily milk yield of Friesian cows in the Mahwa station (South Burundi). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 61, 45–9.
- Kibwana D.K., Makumyaviri A.M. and Hornick J.L. 2012. Pratiques d'élevage extensif et performances de bovins de race locale et croisées des races laitières exotiques à Beni, RD Congo. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 65, 67–74.
- Manzi M. Ntawubizi M., Karege C. Strandberg E. 2018. Performance of Ankole and crossbred cattle in Rwanda. *Tropical Animal Health and Production*, 51:49–54.
- Nivyobizi A. Deswysen A. Dehareng D. Peeters A. Larondelle Y. 2010. Nutritive value of some tropical grasses used by traditional small farms in the highlands of Burundi. *Tropical animal health and production*, 42, 561–567.
- Pozy P. 1984. Production laitière au Burundi. Partie I : Analyse des performances laitières d'animaux croisés Ankole x Sahiwal en région de basse altitude (Plaine de la Ruzizi). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 37, 197-204.
- Pozy P., Munyakazi L. 1984. Production laitière au Burundi. Partie II : analyse des performances laitières du bétail Ankole en haute altitude. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 37, 205-211.
- Wurzinger M. Ndumu D. Baumung R. Drucker A. Okeyo A.M. Semambo D.K. Byamungu D. Sölkner G. 2006. Comparison of production systems and selection criteria of Ankole cattle by breeders in Burundi, Rwanda, Tanzania and Uganda. *Tropical animal health and production*, 38, 571–581.

IB. Effet de l'ascendance taurine européenne sur la production laitière de bovins laitiers croisés Ankole-Holstein dans le système mixte des régions de haute altitude du Burundi

Résumé

Cette étude a été menée dans le cadre de l'élaboration d'un plan d'action national pour la gestion et l'amélioration des bovins au Burundi. L'objectif de cette étude était (i) de caractériser génétiquement des individus Ankole et croisés Ankole x Frison et (ii) d'évaluer l'effet de l'ascendance taurine européenne sur la production laitière des vaches élevées dans le système d'intégration agro-sylvo zootechnique du milieu rural burundais. A cette fin, nous avons génotypé 37 Ankole et 138 individus croisés sur 42 636 SNP et combiné ces génotypes avec ceux de 21 races de bovins, représentatifs de la diversité génétique bovine. Nous avons également mesuré la production laitière journalière traite et estimé le lait tété. Au vu des résultats, nous avons confirmé le métissage de la race Ankole au Burundi, qui est un mélange de sang taurin africain et zébu, et avons montré que les individus croisés présentaient une forte proportion d'ascendance taurine européenne (c'est-à-dire 57% en moyenne). Par augmentation d'une unité d'ascendance de la proportion taurine européenne, la production laitière journalière augmentait en raison de $0,03 \pm 0,01$ l/jour, soit dans une moindre mesure que prévu. Nous avons également observé que les agri-éleveurs n'étaient pas en mesure d'évaluer correctement la proportion d'ascendance taurine européenne de leurs animaux. Nos résultats peuvent fournir des informations utiles pour une gestion des ressources bovines au Burundi. Par exemple, un programme de conservation ex-situ de la race Ankole est proposé comme stratégie d'accompagnement pour améliorer la durabilité de ce programme de croisement.

Mots-clés : Croisement, production laitière journalière, conservation ex-situ, diversité génétique, système d'intégration agriculture/élevage, petites exploitations.

Effect of genetic European taurine ancestry on milk yield of Ankole-Holstein crossbred dairy cattle in mixed smallholders system of Burundi highlands

Animal genetics: 2017 (48), 544-550

J. Manirakiza*, G. Hatungumukama*, S. Thévenon†, M. Gautier‡§, B. Besbes¶, L. Flori†**†† and J. Dettelleux‡‡

*Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie, Université du Burundi, B.P. 2940, Bujumbura, Burundi. †UMR INTERTRYP, CIRAD, F34398 Montpellier, France. ‡UMR CBGP (INRA/CIRAD/IRD/Supagro), INRA, F34988 Montferrier-sur-Lez, France. §IBC, Institut de Biologie Computationnelle, 34095 Montpellier, France. Animal Production and Health Division, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy. **AgroParisTech, GABI, INRA, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France. ††Montpellier SupAgro, SELMET, CIRAD, INRA, 34398 Montpellier, France. ‡‡FARAH, Productions Durables, Université de Liège, 4000 Liège, Belgium.

Address for correspondence : J. Dettelleux, University of Liège, Quartier Vallée 2, Avenue de Cureghem, 6, 4000 Liège, Belgium. E-mail: jdetilleux@ulg.ac.be and G. Hatungumukama, Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie, Université du Burundi, B.P. 2940, Bujumbura, Burundi. E-mail: hatungumukama@yahoo.com

Summary

Different breeding systems associated with specific bovine genetic resources have coexisted in Burundi. To prepare for the development of a national action plan for the improvement of bovine genetic resources in Burundi, we aimed at performing genetic characterization of Ankole and Ankole x European crossbred individuals and assessing the effect of European ancestry on milk productivity of cows kept under the mixed crops livestock system. To that end, we genotyped 37 Ankole and 138 crossbred individuals on 42 636 SNPs and combined these genotypes with those from 21 cattle breeds, representative of the bovine genetic diversity. We also measured milk yield not suckled and estimated suckled milk. Given the results, we confirmed the Zebu x African taurine admixed origin of the Ankole in Burundi and showed that crossbred individuals present a high proportion of European ancestry (i.e. 57% on average). As the proportion of European ancestry increased, milk yield increased by 0.03 ± 0.01 l/day, at a lower extent than expected. We also observed that breeders were unable to correctly evaluate the European proportion in their livestock. Our results may provide useful information for objective dairy breeding in Burundi. As an example, an ex-situ conservation program of Ankole within the framework of value chains is proposed as an accompanying strategy to improve the sustainability of the crossbreeding program.

Keywords crossbreeding, daily milk yield, ex-situ conservation, genetic diversity, mixed crops–livestock system, smallholdings.

Introduction

In Burundi, growth and high density of human population are responsible for the reduction in pasture land. This ongoing reduction restricts animal mobility and elicits a decrease in the number of cows per households. The traditional extensive agro-pastoral system (TEAP), which consists of letting animals graze from morning to evening and come back to night shelters, is gradually being replaced by the mixed-crops livestock system (MCLS), in which cows are mainly confined during the day and fed with forage and crop residues. The MCLS thus has become the most frequent system in smallholdings (with one to three heads per farmer) commonly found in Burundi. Indeed, it is less expensive than TEAPs in terms of space and less expensive in terms of investment than is the dairy intensive system, which is developing around major cities, especially around Gitega and Bujumbura, where the demand for fresh milk is high. It also has the advantage of producing high quantities of manure used for crop fertilization, which is of interest in Burundi where lands are overexploited. At the global level, this system is also recognized to be the most resilient to climate extremes, to improve nutrient recycling and to increase income diversity (Weindl *et al.*, 2015).

Local breeds, such as Ankole, are characterized by poor dairy potential but valuable adaptation to harsh environments (e.g., Wurzinger *et al.*, 2006). In contrast, dairy-type European taurine (EUT), such as Holstein, are characterized by high milk potential and poor adaptation to harsh tropical environments (e.g. Tadesse and Dessie, 2003). In the 1993 post-conflict context of Burundi, the government, with the support of technical and financial partners, promoted the importation of Holstein crossbred cows from Uganda to be given to rural poor smallholders. Indeed, it was believed these crossbred cows would be well adapted to MCLS and produce more than would pure local breeds raised in the same breeding system. As a consequence, the cattle population in Burundi is now mainly a mix of crossbred cows. However, thus far no study has reported on the use of genetic markers to assess the importance of EUT cattle introgression in Burundi cattle. It is also unknown by how much the introduction of EUT crossbred individuals has been improving milk productivity in MCLS. Indeed, cross- breeding programs in the tropics face several challenges that may limit the advantages of heterosis and breed complementarity and jeopardize the sustainability of the system (Galukande *et al.*, 2013; Leroy *et al.*, 2015).

This preliminary study aimed to (i) genetically characterize the Ankole breed from Burundi and the crossbred populations and (ii) identify the genetic contribution of EUT ancestry in crossbred cows kept under the MCLS of Burundi and its effect on daily milk yield (DMY). Because non- genetic factors, such as parity, stage of lactation, climate, cattle management and feeding, have been reported to affect milk production (e.g. Hatungumukama *et al.*, 2008), they were taken into account in the estimation of the effect of EUT ancestry on milk yield.

Materials and methods

Population and study area

The study was conducted in the highland natural region of Crete Congo Nil (1700–2500 m in altitude) in the province of Bururi, located in the southern part of Burundi. This region has the highest annual rainfall (1500–2000 mm) in the country, a cool climate and a rainy season varying from 8 to 9 months. These conditions are favorable for raising cattle, which explains why the Crete Congo Nil hosts 41% of the cattle population in Burundi (Hatungumukama *et al.*, 2007). A total of 144 Holstein crossbred cows, in their first stage of lactation or last month of pregnancy, were randomly sampled from 132 small farms located in eight villages of three administrative communes (Matana, Bururi and Songa). Of these, 73, 60 and 13 lactating cows were in their first, second and third parity respectively. As far as origin, 78 cows had been imported from Uganda, 65 cows had been born in Burundi and three had unidentified origin. Before genotyping, farmers were invited to estimate the probable percentage of EUT ancestry based on the conformation and milk production performance of their cows. They classified them into three groups, low (<25%), medium (25–75%) and high (>75%) EUT ancestry.

Phenotypes

Dairy cows were hand milked and suckled twice a day, in the morning and evening. The quantity of milk suckled by calf was estimated by the weigh-suckle-weigh technique with a mobile scale graduated in 100 kg (Mandibaya *et al.*, 2000), which was performed twice a week on 10 calves, in the morning and evening for a period of 5 months postpartum. The quantity of milk not suckled was measured with a calibrated cup of 2 liters once a month, in the week of the first Monday of the calendar month, on each cow and for a period of 10 months. DMY was calculated as the sum of milk suckled and collected by hand. Data were collected between April 2014 and January 2015, with a dry season from May to September 2014 and otherwise a rainy season.

Genotypes

Nasal swabs were collected on each individual using the PG- 100 Performagen Livestock Kit, and DNA was extracted according to the protocol provided by DNA GENOTECK using the PG-AC4 Reagent Pack–Full Purification kit®. The DNA concentration of all samples was verified by using a Qubit® 2.0 Fluorimeter (Invitrogen) with a Qubit™ ds DNA BR Assay, as recommended by Invitrogen, using 1.5 µl DNA volume. The DNA extracted was genotyped on an Illumina BovineSNP50 chip assay v2® (Matukumalli *et al.*, 2009) at the Labogena platform (Jouy-en-Josas, France). Genotypes of cattle sampled in this study were combined with genotypes of 549 cattle belonging to 21 populations produced previously (Flori *et al.*, 2009; Gautier *et al.*, 2009, 2010; Matukumalli *et al.*, 2009) and stored in the WIDDE database (Sempéré *et al.*, 2015). These populations are representative of the main groups of cattle populations, i.e. European taurine (EUT), African taurine (AFT), Zebu cattle (ZEB) and admixed cattle. Among the 49 555 autosomal SNPs

selected, we discarded SNPs that (i) were genotyped on less than 75% of the individuals in at least one breed, (ii) did not pass Hardy-Weinberg equilibrium tests following the procedure described by Gautier *et al.* (2010) and (iii) displayed a minor allele frequency of less than 0.01. Individuals for which less than 95% of markers in their genomes were known less than 95% of markers in their genomes were known were ignored.

Analysis of population structure

Unsupervised genotype-based hierarchical clustering was performed using the maximum likelihood method implemented in ADMIXTURE 1.04 (Alexander *et al.*, 2009), and results were visualized with customized functions in the R environment.

Analysis of farmers' judgement

The Kappa test (Sim and Wright, 2005) was used to evaluate the concordance between rankings made by cattle keepers and results of DNA analysis, also grouped into low (<25%), medium (25–75%) and high (>75%) percentage of EUT ancestry.

Analysis of milk productivity

A mixed linear model was chosen to estimate the effect of the percentage of EUT origin on DMY. This model assumes DMY is normally distributed, but this was not confirmed by visual inspection. A logarithmic transformation was the appropriate transformation to reach normality (PROC TRANSREG, SAS). Despite this, the model was applied to DMY without transformation because linear models are robust when normality of data is violated and because most scientific studies on milk production report results without transformation. The model included the fixed effects for the month in lactation (1–12), communes (Bururi, Matana or Songa), villages nested within communes (Nyavyamo or Rushemeza in Bururi; Gisarenda, Sakinyonga, Butwe or Mahango in Mantana; or Kinwa or Gahanda in Songa), parity (1–3 or more), season (rainy or dry season) and origin (imported or born in the country) as well as covariates for age at first calving (24–49 months) and for EUT admixture proportion (from 0.6% to 90.35%), the random effects for the animal and the error terms. In one approach, both random effects were assumed independently and normally distributed with null means and variances r^2 and v^2 for the animal and residual terms respectively. All computations were done in SAS (PROC MIXED). For the second approach, the genomic relationship between animals was obtained from the SNP information, and computations were done with the BLUPF90 family of programs (Miztal *et al.*, 2012). Significance levels were set at 1%.

Results

Population structure

To provide a fine-scale genetic characterization of cattle sampled in Burundi, we combined the SNP data obtained on 138 Ankole–Holstein crossbred and 36 pure Ankole individuals from this study with genotypes from 21 worldwide cattle populations' representative of EUT, AFT, ZEB and admixed

populations. Thus, 42 636 SNPs genotyped on 723 animals were analyzed. Performing an unsupervised hierarchical clustering of the individuals, with a number of three predefined clusters, we interpreted the clusters shown in green, blue and red (Fig. 1) as EUT, AFT and ZEB ancestry respectively and estimated the different ancestry proportions of individuals from Burundi. For example, Ankole individuals had on average $57\pm0.2\%$, $41\pm0.2\%$ and $0.8\pm0.01\%$ of ZEB, AFT and EUT ancestries respectively. On the other hand, ancestry proportions of crossbred populations were variable, with a predominance of EUT ancestry (Fig. 1). Overall, these proportions were $57\pm19\%$ for EUT, $26\pm13\%$ for ZEB and $17\pm6\%$ for AFT ancestry. Almost 78% of the crossbred cows had between 25% and 75% EUT ancestry, and 16% had more than 75% EUT ancestry. No clear geographical substructure was observed.

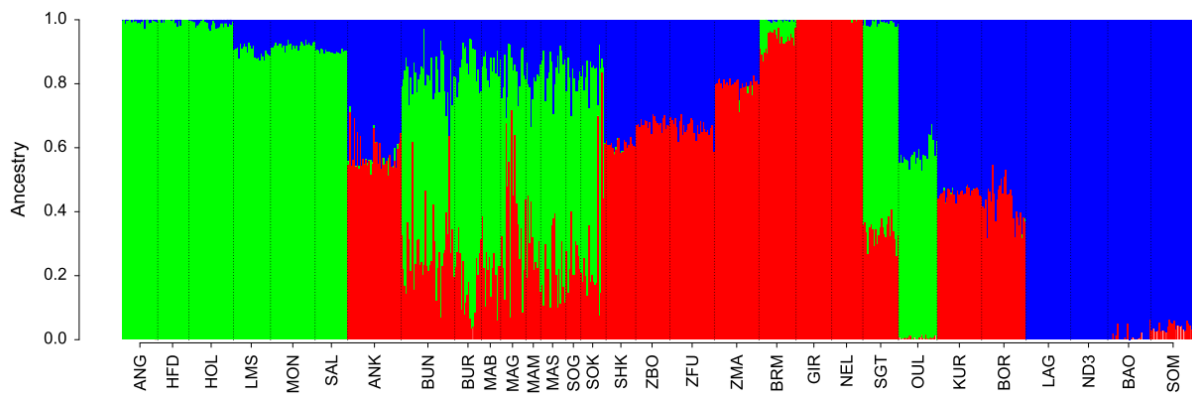


Figure1 Unsupervised hierarchical clustering results of the 723 individuals genotyped on 42 636 SNPs with an inferred number of clusters $K = 3$. The proportions of each cluster (y-axis) are represented for each individual. Proportions that are interpreted as representative of EUT, AFT and ZEB ancestries are plotted in green, blue and red respectively.

We compared this accurate estimation of EUT ancestry with the farmers' estimations based on the conformation and milk production performance of their cows. A total of 141 cows were genotyped and scored by farmers (Table 1). The Kappa coefficient was very low ($\kappa = 0.06$) and not significantly different from null, suggesting agreement in rankings formulated by farmers and by DNA analysis was not better than by chance. Inversely to admixture proportions, farmers considered that 11%, 41% and 48% of their cows had low, medium and high proportion of EUT ancestry respectively.

Table 1 Proportion of European taurine (%) according to the rankings made by cattle keepers and the results of admixture analysis based on DNA genotyping: absolute number of responses

Results of admixture analysis	Ranking made by cattle breeders			Total	Percent
	<25%	25-75%	>75%		
<25%	4	5	0	9	6
25-75%	10	44	55	109	78
>75%	2	8	13	23	16
Total	16	57	68	141	100
Percent	11	41	48	100	

Milk productivity

The mean (standard error) milk yield not suckled was 2.9 ± 0.1 , 3.4 ± 0.1 and 4.7 ± 0.2 l/day for cows with low (<25%), medium (25–75%), and high (>75%) proportion of EUT ancestry respectively. Average milk suckled was 2 ± 0.5 l/day during the first 5 months after parturition. This suggests that average total milk produced was 5.6 l/day. Average age at first calving was 37 ± 7 months, with a range of 24–49 months.

For both modelling approaches (i.e. considering genomic relationships or not), month of lactation and EUT proportion were the only significant effects on DMY. Because they were similar between models, only least-square means from the model not considering genomic relationships are reported. Milk production was highest during the first 3 months of lactation and declined thereafter (Fig. 2). The DMY increased by 0.03 ± 0.01 l/day for each percentage increase in the proportion of EUT ancestry. For example, a crossbred cow with an average proportion of 57% EUT ancestry would be expected to produce 1.5 l ($= 57 \times 0.03$ l) more than a purebred Ankole. The variance associated with the animal effect represented 69% and 63% respectively of the total variation when genomic relations were or were not considered or not.

Although statistically not significant, differences were also observed between villages (Fig. 3) and origin. For example, cows in the village of Gisarendu had the highest mean DMY and the lowest mean EUT (46.3%) proportion. Also, cows born in Burundi (mean EUT = 54.3%) produced on average of 0.4 l/day more milk than did imported cows (mean EUT = 60%).

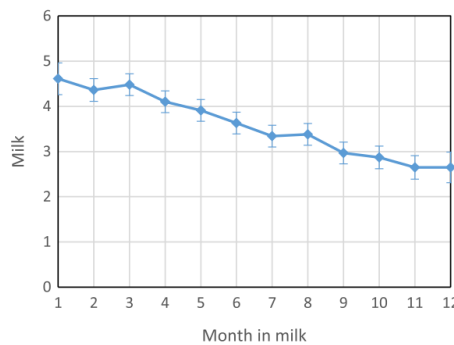


Figure 2 Milk least-squares means (l/day) per month in lactation

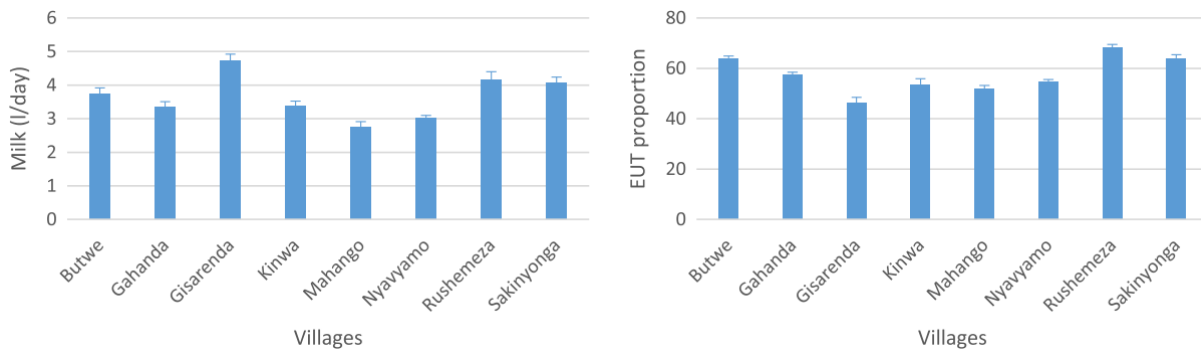


Figure 3 Milk least-squares means (l/day) and means of European (EUT) admixture proportion per village

Discussion

Crossbreeding with highly selected breeds is often implemented in developing countries to rapidly improve the productivity of local populations (Leroy *et al.*, 2015), and Burundi is no exception. In this study, we characterized at the genome-wide level the genetic diversity of the Ankole cattle breed, sampled in Burundi, and confirmed its ZEB x AFT admixed origin, in agreement with previous reports on the genetic history of East African cattle (Hanotte *et al.*, 2002). We also showed that crossbred animals considered in this study were EUT x AFT x ZEB admixed, as expected because they were obtained by crossing Ankole with EUT breeds such as Holstein.

Crossbred animals present a high proportion of EUT ancestry (i.e. 57% on average), suggesting that they may benefit from positive heterosis. As a matter of fact, we found a significant increase in milk collected by hand (i.e. not suckled) in those with higher EUT percentage: means were 2.9 and 4.7 l/day for cows with low (<25%) and high (>75%) percentage of EUT ancestry respectively. These means are higher than the milk yield (not suckled) of pure Ankole cattle, for example, 2.1 l/day in Burundi (Hatungumukama *et al.*, 2008), 2.2 l/day in Uganda (Kugonza *et al.*, 2011) and 2.4 l/day in R. D. Congo (Kibwana *et al.*, 2012). The mean total milk produced (5.62 l/day suckled and not) was similar to that reported in Holstein crossbred cows kept under MCLS in other countries: 5.2 l/day in R.D. Congo (Kibwana *et al.*, 2013), 5.2 l/day in Ethiopia (Tassew and Seifu, 2009) and 6.7 ± 0.4 l/day on the eastern coast of Tanzania (Bee *et al.*, 2006).

This significant increase in milk productivity should improve family nutrition and provides extra income to MCLS farmers. In Burundi, the quantity of milk sold by most MCLS farmers varies from 30% to 60% of DMY depending on rural market access. Due to the breeders' small processing know-how, the lack of electricity and cold chain in rural areas, fresh daily milk produced in the morning is marketed, whereas the evening milk production (around 40%) is usually consumed by the producer and/or given free to the neighbors and exchanged for forage.

However, in this study, the observed DMY increase was not as spectacular as expected. Indeed, according to a review of 23 studies, lactation milk yields of crossbred dairy cows with 50 percent *Bos Taurus* can be two to three times higher than that of local cattle (Galukande *et al.*, 2013). Here, without information on milk produced by cows with 0% EUT, we observed milk yield of cows with more than 75% EUT ancestry to be only 1.6 (4.71/2.90) times higher than that of cattle with less than 25% EUT ancestry. Such disappointing improvement could be partly attributed to inadequate management and feed resources in line with the requirements of these crossbred dairy cows. Indeed, advantages of crossbreeding are justifiable only if crossbred animals are raised in an adequate environment such that they can fully express their genetic potential (Leroy *et al.*, 2015). The basic diet in MCLS includes *Trypsacum laxum* and *Pennisetum sp.*, with no legumes or concentrates. This diet, although not analyzed here, is not balanced to fill the gaps between available resources and animal needs for protein and minerals. Therefore, feed quality and quantity should be improved to supply the

needs of crossbred animals, but the question of how MCLS breeders will pay for increased feed and how they will acquire the necessary knowledge must be addressed in future studies. Indeed, in many circumstances, production systems cannot be easily changed and adapted to fit the needs of crossbred animals (Leroy *et al.*, 2015).

It is also possible that some alleles associated with high milk yield were not fully transferred from EUT breeds or selected for in crossbreds in local farms. For example, breeders may have favored crossbred animals with higher survivability instead of those with a higher ability to produce milk yield, but information on the length of productive lives and other components of cattle productivity was not available in this study. It would be interesting to investigate the genomic features underlying the effects of crossbreeding with a view of the entire genome and to determine whether haplotypes of the few influential bulls selected in Western countries for economic traits are found in crossbred animals. Note also that the choice of EUT breeds used to improve local breeds could be more profitable if it were possible to distinguish between progenitors whose offspring would show higher heterosis. One approach to doing so would be to identify QTL involved in heterosis formation and to follow the general theoretical framework proposed by Melchinger *et al.* (2007) for determining the contributions of the different types of genetic effects to heterosis. Reciprocally, use of genes hidden in low-yielding Ankole in EUT breeds could be a novel option for enrichment of genetic diversity for productivity traits in exotic cattle (Mwai *et al.*, 2015).

A final explanation for the less than expected contribution of the EUT ancestry in milk yield improvement is methodological: the model proposed here includes a random animal effect (a) and a fixed effect of the EUT admixture proportion (t). Then, non-additive genetic effects may be confounded with direct additive effects, and this may explain the upward bias in the heritability estimates. It is also possible the random animal effect includes not only genetic background for milk yield but also for other traits including tolerance to disease (Detilleux 2012), which may also bias heritability estimates. The model was also constrained because sample size was limited and because no pedigree information was available, both of which are very important for the prediction of genetic parameters.

The lack of pedigree records may also explain why rankings of EUT ancestry formulated by MCLS breeders were not in agreement with results of DNA analysis ($j = 0.06$). Indeed, due to the intense distribution of cows coming from Uganda with Burundi restocking, it remains difficult for most beneficiaries to estimate percentage of EUT ancestry based only on phenotypic observations. Moreover, hard conditions characterized mainly by small farmers' low capacity to feed animal cause the farmers to be confused about their cows' genotypes and their adaptability to local conditions.

Even if Burundian breeders would like to increase milk productivity by crossbreeding Ankole with EUT, they are still limited by low availability of land, which allows the majority of them to rear only a maximum of three adult cows. Moreover, there remains a need for providing proper guidelines for management and care of crossbred animals. In addition, such programs will need to be

strengthened by an adequate program of milk value chain with milk collecting, processing and marketing being well studied (Leroy *et al.*, 2015). Otherwise, there is the risk that interest in the crossbreeding program will decrease and will possibly generate little gain in the productivity of crossbred cows. Research about such situations was funded by socio-economic studies that showed that disinterest was linked with the disappearance of crossbred cows within farms (Roschinsky *et al.*, 2015).

Although data from this study are too limited for far-reaching conclusions on the use of crossbreeding with EUT breeds in Burundi, genetic improvement of Ankole cattle could be considered by MCLS breeders and decision-makers as an alternative. Indeed, milk productivity could gradually be raised by selective breeding because milk heritability in crossbreds raised in Burundi (Mahwa station) was shown to be close to 27% (Hatungumukama and Detilleux, 2009). The genetic gain associated with the selection of the top 5% of the cows will be close to 0.34 l of milk per year (calculated as $h^2 \times i \times \sigma_p / L = (0,027 \times 2,06 \times \sqrt{3.43}) / 2.8$).

Specific labeling of purebred Ankole products could, in addition to the promotion of the use of the Ankole breed, allow breeders to benefit from higher prices for their products (e.g. Lauvie *et al.*, 2008). Although selective breeding is comparatively slower than crossbreeding to generate highly productive cattle, it is more sustainable. But, to be successful, performance and pedigree records must be made available via recording systems adapted to the tropics, (i.e. contracted herds, bi-monthly or AM–PM recordings). From a strict conservation point-of-view, selective breeding of Ankole cattle should guarantee better diversity across local breeds. Moreover, Ankole cattle could constitute a genetic source for better adaptation of EUT cattle to future extreme weather conditions because it can survive in extremely harsh and dry conditions. For example, animals with the lowest EUT ancestry could be used as a nucleus for recovery of the native genetic background in the current admixed population in Burundi, because it is widely recognized that on-farm management of genetic resources is the preferred method of conservation (Gibson *et al.*, 2006). However, breeders do not consider the preservation of genetic resources per se but, instead, take into account genetic considerations and local development goals. Therefore, selective breeding of local cattle should be organized at the community level (e.g. Community Based Organization for Genetic Improvement of livestock), and the whole Ankole value chain should be analyzed with, for example, structure–conduct–performance models (Bett *et al.*, 2012) to guarantee economic, social and environmental interest and to gain acceptance by all stakeholders along the value chain.

Acknowledgements

The authors thank the community team in animal health and farmers for their help in data collection. Jean Luc Guerin and Ngomirakiza Grégoire are also acknowledged for their participation to the current study. We thank Labogena (www.labogena.fr/) for the SNP genotyping. This work was supported by the Food Agriculture Organization (FAO).

Discussion additionnelle

Collecte des données pour le contrôle laitier

Les communes et les villages administratifs (collines) de l'étude ont été sélectionnés préalablement en collaboration avec les services vétérinaires de la direction provinciale de l'agriculture et de l'élevage de la province Bururi et avec les responsables des projets qui ont diffusé les vaches laitières dans cette province. Les agents communautaires en santé animale (ACSAs) de ces collines ont ainsi réalisé une pré-identification des vaches laitières croisées frisonnes-Zébus se trouvant en première phase de lactation ou en dernière phase de gestation. L'identification et l'enregistrement des animaux de l'étude ont ensuite été réalisés lors du prélèvement du mucus nasal par une équipe de 3 chercheurs (dont l'auteur de cette thèse). Les premières données en rapport avec la localisation de l'exploitation (commune, colline) et les caractéristiques des animaux (numéro de lactation, niveau de croisement selon les dires de l'agri-éleveur, origine et date de vêlage) ont été collectées à cette étape.

Par la suite, un contrôle laitier mensuel (durant la première semaine du mois) a été effectué par des ACSAs préalablement formés. Une première séance de formation, théorique, a sensibilisé les ACSAs au contrôle laitier. Une deuxième séance, plus pratique, s'est déroulée dans 5 exploitations sur une des collines participant à l'étude. Il s'agissait pour les ACSAs d'établir le calendrier des visites en collaboration avec les propriétaires des animaux, afin qu'ils se présentent avant la traite. Lors de la collecte des données, la traite s'est effectuée manuellement matin et soir avec un petit seau gradué de 2 litres. Ce contrôle laitier était suivi de l'enregistrement de l'état sanitaire des animaux au cours du mois de lactation en question. L'auteur de cette thèse est descendue sur le terrain chaque mois afin superviser la collecte des données et de récupérer les fiches d'enregistrement.

Résultats

Les résultats ont montré d'importantes variations individuelles dans les formes des courbes de lactation, comme observé par Delage *et al.* (1953), même pour des animaux ayant une proportion d'ascendance taurine comparable (Figure 4). Le pic de lactation a été observé au cours du premier mois de lactation (Figure 5). Cette variabilité élevée montre que des facteurs liés aux conditions d'élevage dans les exploitations influencent la production laitière, entre autre l'alimentation. Cependant la quantité de fourrage distribuée quotidiennement à chaque animal n'a pas été enregistrée, ni la quantité ou le type de complément distribué.

Au niveau de l'état sanitaire, tous les agri-éleveurs échantillonnés ont déclaré qu'ils font l'aspersion d'acaricide contre les tiques deux ou trois fois par mois et vermifugent les animaux une fois tous les trois mois. La theilériose était la maladie observée le plus fréquemment au cours de l'étude, avec 22% d'animaux atteints (Tableau 2). Les cas enregistrés étaient de 33,3, 17,4 et 39% respectivement pour les niveaux de croisement avec des races taurines européennes allant de faible (<25%), moyen (entre 25 et 75%) à élevé (>75%). Ces résultats suggèrent que le niveau de croisement n'influencerait pas beaucoup la sensibilité des animaux à cette maladie. Parmi les 23 animaux dont la proportion d'origine européenne était supérieure à 75%, 6 animaux avaient une production laitière élevée avoisinant 10 litres /jour ; aucune maladie n'avait été enregistrée pour ces animaux.

Tableau 2: Cas de maladies enregistrées durant la période de contrôle laitier

Principales maladies	Moins de 25% de proportion taurine européenne		Entre 25 et 75 % de proportion taurine européenne		Plus de 75% de proportion taurine européenne		Total	
	Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%
Theilériose	3	33,3	19	17,4	9	39	31	22
Diarrhée			3	2,8	1	4,3	4	2,8
Fièvre aphteuse	1	11,1					1	0,7
Mammites			2	1,8	4	17	6	4
Total	9		109		23	100	141	

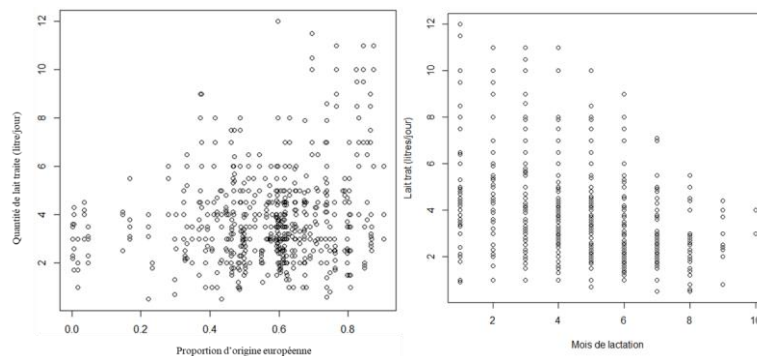


Figure 4: Quantité de lait traité (litres/jour) en fonction de la proportion d'ascendance taurine européenne et du mois de lactation.

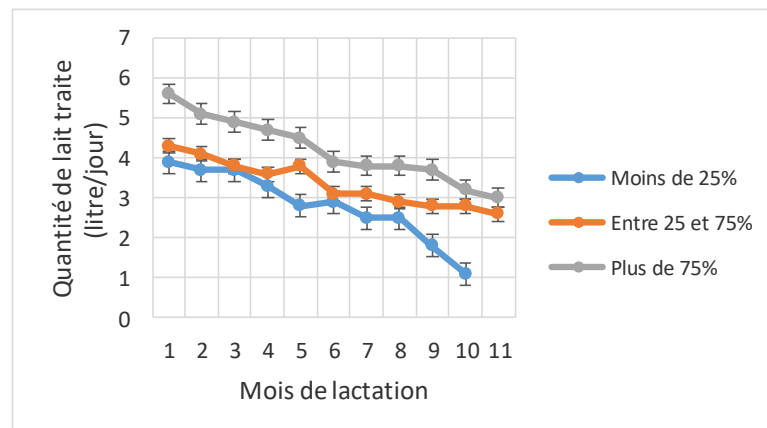


Figure 5 : Courbe de lactation selon le niveau de croisement Ankole-Holstein des vaches considérées lors du contrôle laitier

References

- Alexander D.H., Novembre J. and Lange K. 2009. Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. *Genome Research*, 19, 1655–64.
- Bee J.K.A., Msanga Y.N. and Kavana P.Y. 2006. Lactation yield of crossbred dairy cattle under farmer management in Eastern coast of Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*, 18, 2.
- Bett H., Peters R.C., Kahi K.J. and Bokelmann A.K. 2012. Linking utilisation and conservation of indigenous chicken genetic resources to value chains. *Journal of Animal Production Advances*, 2, 33–51.
- Delage J., Leroy A.M., Poly J. 1953. Une étude sur les courbes de lactation. *Annales de Zootechnie*, 2, 225-267.
- Detilleux J. 2012. A mathematical model to study resistance and tolerance to infection at the animal and population levels: application to *E. coli* mastitis. *Frontiers in Genetics*, 3, 146.
- Epaphras A., Karimuribo E.D. and Msellem S.N. 2004. Effect of season and parity on lactation of crossbred Ayrshire cows reared under coastal tropical climate in Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*, 16, 42.
- Flori L., Fritz S., Jaffrézic F., Boussaha M., Gut I. and Heath S. 2009. The genome response to artificial selection: a case study in dairy cattle. *PLoS One*, 4, e6595.
- Galukande E., Mulindwa H., Wurzinger M., Roschinsky R., Mwai A.O. and Sölkner J. 2013. Cross-breeding cattle for milk production in the tropics: achievements, challenges and opportunities. *Animal Genetic Research*, 52, 111–25.
- Gautier M., Flori L., Riebler A., Jaffrézic F., Laloé D., Gut I. and Foulley J.L. 2009. A whole genome Bayesian scan for adaptive genetic divergence in West African cattle. *BMC Genomics*, 10, 550.
- Gautier M., Laloé D. and Moazami-Goudarzi K. 2010. Insights into the genetic history of French cattle from dense SNP data on 47 worldwide breeds. *PLoS One*, 5, e13038.
- Gibson J., Gamage S., Hanotte O., I-niguez L., Maillard J.C., Rischkowsky B. and Toll J. 2006. Options and Strategies for the Conservation of Farm Animal Genetic Resources: Report of an International Workshop. Montpellier, France, 7–10 November 2005. CGIAR System-wide Genetic Resources Programme (SGRP)/Bioversity International, Rome, Italy.
- Hanotte O., Bradley D.G., Ochieng J.W., Verjee Y., Hill E.W. and Rege J.E. 2002. African pastoralism: genetic imprints of origins and migrations. *Science*, 296, 336–9.
- Hatungumukama G. and Detilleux J. 2009. Estimation of genetic and crossbreeding parameters for daily milk yield of Ayrshire x Sahiwal x Ankole crossbred cows in Burundi. *Livestock Science*, 122, 359–62.
- Hatungumukama G., Hornick J.L. and Detilleux J. 2007. Aspects zootechniques de l'élevage bovin laitier au Burundi : présent et futur. *Annales de Médecine Vétérinaires*, 151, 150-165.

- Hatungumukama G., Leroy P. and Dettileux J. 2008. Non genetic effects on daily milk yield of Friesian cows in the Mahwa station (South Burundi). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 61, 45–9.
- Kibwana D.K., Makumyaviri A.M. and Hornick J.L. 2012. Pratiques d'élevage extensif et performances de bovins de race locale et croisées des races laitières exotiques à Beni, RD Congo. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 65, 67–74.
- Kibwana D.K., Makumyaviri A.M. and Hornick J.L. 2013. Effect of improved feeding and housing, Friesian blood level and parity on milk production of Ankole 9 Friesian cows. *Pakistan Veterinary Journal*, 35, 76–80.
- Kugonza D.R., Nabasirye M., Mpairwe D., Hanotte O. and Okeyo A.M. 2011. Productivity and morphology of Ankole cattle in three livestock production systems in Uganda. *Animal Genetics Research*, 48, 13–22.
- Lauvie A., Danchin-Burge C., Audiot A., Brives H., Casabianca D.F. and Verrier E.A. 2008. Controversy about crossbreeding in a conservation programme: the case study of the Flemish Red cattle breed. *Livestock Science*, 118, 113–22.
- Leroy G., Baumung R., Boettcher P., Scherf B. and Hoffmann I. 2015. Review: sustainability of crossbreeding in developing countries; definitely not like crossing a meadow. *Animal*, 10, 262– 73.
- Mandibaya W., Mutisi C., Hamudikuwanda H. and Titterton M. 2000. The quantity and composition of milk taken by calves reared by restricted suckling in smallholder dairy farming areas of Zimbabwe. *Livestock Research for Rural Development*, 12, 1–10.
- Matukumalli L.K., Lawley C.T., Schnabel R.D., Taylor J.F., Allan M.F., Heaton M.P. and Van Tassell C.P. 2009. Development and characterization of a high density SNP genotyping assay for cattle. *PLoS ONE*, 4, e5350.
- Melchinger A.E., Piepho H.P., Utz H.F., Muminovic J., Wegenast T., Tötjék O., Altmann T. & Kusterer B. 2007. Genetic basis for heterosis growth-related traits in Arabidopsis investigated by testcross progenies of near-isogenic lines reveals a significant role of epistasis. *Genomics*, 177, 1827–37.
- Miztal I., Tsuruta S., Aguilar I. and Legarra A. 2012. Adaptation of BLUPF90 package for genomic computation. Proceedings of the 63rd Annual meeting of the European Association of Animal Production (EAAP), 27-31 August, Bratislava, Slovakia.
- Mwai O., Hanotte O., Kwon Y.J. and Cho S. 2015. African indigenous cattle: unique genetic resources in a rapidly changing world. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 28, 911– 21.
- Roschinsky R., Kluszczynska M., Sölkner J., Puskur R. and Wurzinger M. 2015. Smallholder experiences with dairy cattle crossbreeding in the tropics: from introduction to impact. *Animal*, 9, 150–157.
- Sempéré G., Moazami-Goudarzi K., Eggen A., Lalöe D., Gautier M. and Flori L. 2015. WIDDE: a web-interfaced next generation database for genetic diversity exploration, with a first application in cattle. *BMC Genomics*, 16, 940.

- Sim J. and Wright C.C. 2005. The kappa statistic in reliability studies: use, interpretation and sample size requirements. *Physical Therapy*, 85, 257–68.
- Tadesse M. and Dessie T. 2003. Milk production performance of Zebu, Holstein Friesian and their crosses in Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*, 15, 1–9.
- Tassew A. and Seifu E. 2009. Smallholder dairy production system and emergency of dairy cooperatives in Bahir dar Zuria and Mecha Woredas, Northwestern Ethiopia. *World Journal of Dairy & Food Science*, 4, 185–92.
- Weindl I., Lotze-Campen H., Popp A., Müller C., Havlik P., Herrero M., Christoph Schmitz C. and Rolinski S. 2015. Livestock in a changing climate: production system transitions as an adaptation strategy for agriculture. *Environmental Research Letters*, 10, 094021.
- Wurzinger M., Ndumu D., Baumung R., Drucker A., Okeyo A.M., Semambo D.K., Byamungu N. and Sölkner J. 2006. Comparison of production systems and selection criteria of Ankole cattle by breeders in Burundi, Rwanda, Tanzania and Uganda. *Tropical Animal Health and Production*, 38, 571–81.

IC. Caractérisation des systèmes de production et effet du croisement Boer sur les mesures corporelles des caprins au Burundi

Résumé

Dans le cadre de l'élaboration d'un plan d'action national pour la gestion des caprins au Burundi, nous avons caractérisé les systèmes de production caprine et évalué l'effet du croisement Boer sur les mesures corporelles des animaux. A cette fin, 319 agri-éleveurs, dans les cinq zones agro-écologiques du Burundi, ont répondu à une enquête et les mesures zootechniques de 939 chèvres adultes ont été prises. La typologie des systèmes de production de caprins a abouti à l'identification de deux groupes opposés et d'un groupe intermédiaire. A une extrémité, il y a les élevages situés dans les zones de basse altitude et de longue saison sèche, de taille relativement élevée, composés principalement de chèvres de race locale, ayant le gardiennage comme principal mode de conduite et un objectif d'élevage orienté vers la vente des chèvres plutôt que vers la production de fumier. A l'autre extrémité, il y a les élevages des zones de montagnes humides, de petits taille, composés d'animaux de race locale et de croisés, ayant la stabulation permanente ou l'alternance attachement/gardiennage comme mode de conduite des animaux et un objectif d'élevage centré sur la production du fumier plutôt que sur la commercialisation des animaux. Des modèles linéaires à effets fixes ont été utilisés pour évaluer l'effet du croisement Boer sur le poids et les mesures linéaires des animaux adultes, après ajustement en fonction de l'âge, du sexe, du mode de conduite et des zones agro-écologiques. Les résultats ont révélé que la moyenne des moindres carrés du poids des croisés Boer adultes était 4,74 kg plus élevée que celle des chèvres locales, ce qui est inférieur aux prévisions. Par rapport aux animaux de race locale, les moyennes des moindres carrés des croisés Boer étaient plus élevées de 4,88 cm pour le périmètre thoracique, de 5,59 cm pour la longueur du corps et de 4,82 cm pour la hauteur au garrot. Les chèvres étaient plus lourdes et de plus grand gabarit dans les zones de basse altitude que dans les zones humides des montagnes. Les avantages et les contraintes d'un programme de sélection au sein de la race locale sont discutés comme une alternative au programme de croisement.

Mots-clés : ressources génétiques caprines, systèmes de production, zones agro-écologiques, analyses multivariées, mesures corporelles, moyennes des moindres carrés.

Characteristics of smallholders' goat production systems and effect of Boer crossbreeding on body measurements of goats in Burundi

Accepted for publication in Pastoralism: DOI: 10.1186/s13570-019-0157-5

J. Manirakiza^{1*}, G. Hatungumukama¹, B. Besbes², J. Detilleux³

¹ Department of Animal Health and Productions, Faculty of Agriculture and Bio Engineering, University of Burundi, B.P 2940 Bujumbura, Burundi. ²Officer, Animal Production and Health Division, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy. ³Professor, FARAHA, Productions animales durables, Université de Liège, 4000 Liège, Belgium.

* Corresponding author: Josiane Manirakiza, Department of Animal Health and Productions, Faculty of Agriculture and Bio Engineering, University of Burundi, B.P 2940 Bujumbura, Burundi.

Abstract

As part of a national action plan to manage animal genetic resources in Burundi, we characterized smallholders' goat production systems and assessed the effect of Boer crossbreeding on animal body measures. To that end, 319 farmers were surveyed in the five agro-ecological zones of Burundi and the zootechnical measures of 939 adult goats were taken. Cluster analysis of the goat production systems resulted into two opposed groups and one intermediate. On one side are the dry lowlands systems characterized by large herds composed mainly of indigenous animals grazing freely and by high market characteristics. On the other side are the humid highlands systems characterized by small herds composed of indigenous and crossbred animals fed in stall feeding or herding/tethering systems, and by low market characteristics. The intermediate group is represented by a mixture between these two opposite groups. Fixed effect linear models were used to evaluate the effect of Boer crossbreeding on body weights and linear body measures, after adjustment for age, sex, grazing systems and agro-ecological zones. Results showed that least square means for body weights of adult Boer crossbreds were 4.74 kg higher than those of indigenous goats, which was lower than expected. Least square means for linear body measures of Boer crossbreds were significantly higher than those of indigenous breed: differences in chest girth, body length and height at withers were 4.88 cm, 5.59 cm and 4.82 cm, respectively. Goats were heavier and greater in linear measures in lowlands than in highlands. The advantages and issues of a selection program within indigenous breed are discussed as an alternative to the crossbreeding program.

Keywords: goat genetic resources, production systems, agro-ecological zones, multivariate analysis, body measures, least square means.

Introduction

Goat farming is one of the largest agricultural sectors in developing countries and about 35% of the world goat population (heads) is found in Africa (Skapetas and Bampidis, 2016). In Burundi, the number of goats is high, with an estimate of 3.2 million heads, against 3.4 million for poultry, 1.1 for cattle, 0.8 for pig and 0.5 for sheep (MINEAGRIE, 2017). It is expected that this number will continue to increase as it tends to follow the growth of human population. Indeed, in the 50 least developed countries, the annual growth rates of goat and human populations are 2.6% and 2.4%, respectively (Devendra, 2010). The reasons for this increase are multiple. An important reason is that goats necessitate a lower initial investment and are easier to sell compared to larger animals. As such, poor smallholders often consider goats as a mean to be financially secure (Kosgey *et al.*, 2006; Peacock, 2005). Additionally, feed efficiency of goats is higher than that of other ruminants, so they are best suited to small-scale farming (Darcan and Silanikove, 2018). Finally, indigenous goats are perceived as more resilient to climate changes than other ruminant species (Pragna *et al.*, 2018). Despite these advantages, goat production in smallholding systems continue to face many issues among which the fact that policy-makers are often more interested in developing enhanced breeding of large ruminants to the detriment of that of goats (Mueller *et al.*, 2015). As a consequence, goat production remains extensive and productivity levels are low (Devendra, 2010).

It is however possible to ameliorate goats' productivity by implementing a genetic improvement programs as it is done in many countries. To plan for such programs, a good understanding of breed characteristics under specific production systems is required (FAO, 2012). According to Otte and Chilonda (2002), livestock production systems may be classified according to different criteria, including the agro-ecological zone (AEZ), farming systems and breeds of animals kept.

Burundi, our area of study, is divided into five AEZ (Bidou *et al.*, 1991), fitting into two groups. On one side, the dry lowlands of western Imbo (IMB), the western escarpment of Mumirwa (MUM) and the depressions of northeast (DNE) are characterized by dry seasons varying between 5 and 6 months per year, 800 to 1150 m of altitude, 800 to 1200 mm of annual rainfall and average temperatures of 24°C or above. On the side, are the humid highlands of Congo-Nil-Crest (CNC) and the Central Highlands (CHL). In these zones, dry seasons vary between 3 and 4 months per year, 1400 to 2500 m of altitude, 1500 to 2000 of rainfall and average temperatures between 10 and 20°C. In terms of demography, CHL has the highest population pressure (more than 300 inhabitants/ km²) while the other zones are relatively less populated (less than 300 inhabitants/ km²) (Ministère de l'Intérieur, 2010).

Burundians practice two main farming systems: the very common traditional extensive system (TES) in which goats are either tethered or herded according to availability of pastures and secondly

the mixed crop livestock system (MCLS). In the latter, animals are mainly stall-fed with forage crops and crop residues. This system became common as a response to the degradation of lands caused by soil-erosion (steep slopes) and unsuitable land use (Jeníček and Grofová, 2015). The MCLS allows the production of high quantities of manure used for crop fertilization and decreases soil-erosion thanks to grass hedgerows planted along the level curves. At the global level, MCLS has been recognized as playing a major role in the livelihoods of smallholders; it provides them significant quantities of both livestock and crop-food products (Tarawali *et al.*, 2011).

Concerning the breed, the Burundian goat is typical of the Small Eastern African breed. It is a small, very hardy and mostly black animal although gray or black-gray animals can be found (Wilson, 1991). It is reputed to be a poorer meat producer than some exotic meat breeds such as the Boer goats. Therefore, Boer goat bucks have been used in many countries to crossbreed with indigenous does and their offspring are more efficient red meat producers (Erasmus, 2000; Malan, 2000). This motivated the Government of Burundi to import Boer bucks from Tanzania and Uganda since 2005, with the consequence that the goat population in Burundi is presently a mixture of indigenous goats and Boer crossbreeds in unrecognized proportions (MINEAGRIE, 2010). It is however not known whether Boer crossbreeds compete with the indigenous breed in the Burundi environment.

Therefore, this study attempts (i) to provide a good understanding of the goat production systems in terms of management, farmers' motivations and market characteristics in the five AEZ and (ii) to evaluate the impact of Boer crossbreeding on body measures.

Materials and methods

Data collection

Data consisted in answers to a questionnaire and in measures on animals. The questionnaire covered four main topics: (a) general household characteristics, (b) characteristics of the farming systems, (c) main purpose for raising goats, and (d) market characteristics. It was administered to 319 farmers from November 5, 2014 to January 6, 2015 (short rainy season). Participant farmers were from all 5 AEZ: 41 were located in IMB, 51 in MUM, 56 in CNC, 108 in CHL and 63 in DNE. We used the purposive sampling technique to select representative farmers for the breed type and livestock systems found in each AEZ. During each visit, an enumerator interviewed the farmers using the questionnaire while two others took measurements on body weights and linear measures of animals of more than one year of age.

We characterized the phenotype of 939 adult goats. Animals were categorized as either indigenous or crossbred according to the farmer's declarations and our observations of the goat's physical characteristics such as presence of dropped ears and conformation (Campbell, 2003). Body

measures (BW = body weight, BL = body length, CG = chest girth, HW = height at withers) were taken with a mobile weighing scale and a measuring tape. Four age clusters were made based on goat dentitions (FAO, 2012): 1 to 2 years, 2 to 3 years, 3 to 4 years and 4 years or more. Herds were categorized into two management groups: pure indigenous herd and mixed herd of indigenous and crossbreds.

Data analysis

Descriptive statistics

We computed percentages of respondents that gave a particular answer as the proportions of the number of people that answered the question. For the quantitative variables, we computed the means and standard deviations.

Typology of goat production systems

To establish a typology of the herds, we selected nine items from the questionnaire that addressed important herd characteristics and variability to be used in a multiple correspondence analysis (MCA) followed by a hierarchical classification analysis (FactoMineR package of the R software: Rx64 3.3.1) (Lê *et al.*, 2008; Husson *et al.*, 2010). Variables included in the analyses are described in Table 1. Multiple correspondence analysis is a method used to summarize a set of categorical variables into a small number of dimensions. We used these dimensions in the hierarchical classification analysis to group respondents according to the cluster to which they belong. AEZ was used as an illustrative variable; it did not actively participate in the construction of dimensions but was projected on them to ease the interpretation of the generated clusters. Finally, we used chi-square and exact Fisher's tests to assess if AEZ, socio-economic characteristics of households (i.e., age range, level of education and household's size), characteristics of clients of goats and the required time to reach the animals market were significantly different among these clusters. For all analyses, p-values were set at 1%. Graphical displays present the proximities between the subjects and show the associations between the categorical variables.

Animals' performances

We used fixed effects linear models to determine whether age, sex, grazing system and other management characteristics influence BW, BL, HW and CG of an animal. The equation for the model is:

$$Y_{ijklmnp} = \mu + A_i + S_j + AS_{ij} + G_k + T_l + TG_{il} + M_m + Z_n + MZ_{mn} + F(MZ)_{omn} + e_{ijklmnp}$$

where $Y_{ijklmnp}$ is the BW, CG, BL or HW of the p^{th} animal of i^{th} age group, j^{th} sex and k^{th} breed type raised in l^{th} herd type, m^{th} grazing mode and n^{th} agro-ecological zone; μ is the overall mean; A is the age group ($i = 1, 2, 3, 4$), S is for the sex of the animal ($j = 1, 2$); G is the breed type ($k = 1, 2$); T is the

type of herd ($l = 1, 2$); M is the mode of grazing ($m = 1, 2, 3$); Z is the agro-ecological zone ($n = 1, 2, 3, 4, 5$) and F is the farm ($o = 1, 2, \dots, 313$). Residuals ($e_{ijklmnp}$) are assumed independently and identically normally distributed with null mean and variance σ^2 . Computations were performed with the procedures GLM and UNIVARIATE of SAS (v9.3). Significant thresholds were set at $p = 0.05$.

Table 1: Variables used in the multivariate analysis of the goats' production systems

Variables	Categories
Grazing modes	free grazing herding and tethering mixed crop livestock system
Type of grazing area	communal pastures individual pastures stall feeding
Presence of litter in the stall	yes no
Use of forage crops in the feed	yes no
First purpose for keeping goat	manure sale both
Size of flock	Small: less than 5 goats medium: from 5 to 10 goats large: over 10 goats
Level of income from goats' sale (in the year before the survey)	Low: less than 50,000 BIF medium: from 50,000 to 100,000 BIF High: more than 100,000 BIF
Breed types	flock with only pure indigenous goats flock with indigenous goats and Boer crossbreds
Money spent for veterinary care (in the year before the survey)	Low: less than 5,000 BIF medium: from 5,000 to 10,000 BIF High: more than 10,000 BIF
Agro-ecological zone	Congo Nil Crest central highlands Imbo Mumirwa Depressions of the Northeast

BIF: Burundian franc (1USD = 1807.9 in March 2019)

Results

Descriptive characteristics of herds and animals

The main source of income in most farms surveyed (84.4%) came from agricultural products while 15.6% had other off-farm activities. Farmers' level of education was generally low with 57.4% not going beyond primary school, 21.6% followed informal schooling (trained in reading and writing), 13.8% had no schooling at all and were illiterate and 7.2% had reached secondary school. Almost half of the sampled farmers (51.6%) were between 30 and 50 years old, 24.8% between 50 and 60 years old, 15.7% over 60 years old and 7.9% less than 30 years old. Most of them (85.3%) were men while others were widowed women.

The first goal in keeping goats was either for sale (24.3%) or both for sale and for manure production (47.6%), or exclusively for manure production (28.1%). Most of the goat keepers (69.9%) used litter to increase the quantity of manure for crop fertilization. About 60% of the farmers had sold goats the year before the survey. Sale purposes were mostly to answer regular or emergency needs (74.1%), to buy a cow (11.6%), to reform animals with health issues (10.9%), or to purchase land (3.4%). The level of income from the sales was low, with an average of 91,917 BIF (range: 10,000 - 595,200 BIF; In March 2019, the exchange rate was 1,807.9 BIF (Burundian franc) for 1 dollar).

Feedstuffs included either pastures or forage crops supplemented with crops by-products, however no concentrates were used. Around 46.8% of the interviewed people indicated that their forage was insufficient to cover the needs of their animals throughout the year, especially during the dry season. Goats were generally kept within the family home or even the kitchen (64.9%) to avoid thefts at night, and only 35.1% of the farmers kept them within a homestead enclosure.

Gastrointestinal parasitaemia was the most important pathology (56.5%), followed by pneumonia (12.4%) and tick-borne diseases (12.2%). Mortality rate for kids under 1 year was estimated at 27.2 % for herds of indigenous and crossbred goats and at 18.3% for herds composed of indigenous goats exclusively. The low household income, too low to pay for veterinary drugs, was the main reason (87.3%) to explain the mortality rate. Overall, the level of expenditure on veterinary treatment was very low, with an average of 5,919 BIF (range: 200 - 48,000 BIF).

The mean (\pm standard deviation) number of goats per farm was 6.6 ± 4.8 . The largest herds (10.8 ± 6.4) were found in IMB, the smallest ones (5.4 ± 2.7) in CNC and CHL. Usually, goats were not the only species kept: 64.2% of the farmers owned also chicken ($n = 7.5 \pm 6.5$), 31.3% owned pigs ($n = 1.4 \pm 1$) and 28.8% owned cows ($n = 1.9 \pm 1$). Indigenous breed represented 69.3% of the all goats in the flocks visited. However, Boer crossbreds were better appreciated than local goats by 54.4% of the respondents because of their good body conformation and higher market price (71.5% of

the respondents) and higher growth rate (28.5% of the respondents). On the other hand, 36.6% of the respondents preferred indigenous goats because of their high resistance to diseases (69.5%), low maintenance cost (19.6%) and high fertility (10.9%). Note that 9% of the respondents had no preference on the breed type. The proportion of male goats in the herds were 37.7% for kids less than one year of age, 10.5% for kids between 1 and 2 years of age, and 0% afterwards. Only 15.3% of respondents owned a buck, those who did not had to borrow or to rent one when needed. The mean age for selling bucks was 5.9 ± 1.9 months. The mean age to reform females was 6 ± 1 years (5.1 ± 2 parity number). The goat's weight was of 23.1 ± 4.7 kg on average (range: 15 to 40 kg). The BW, CG, BL and HW of indigenous breed were 22.3 ± 4.1 kg, 67.1 ± 5.6 cm, 59.0 ± 5.7 cm and 54.2 ± 4.8 cm, respectively while these were 26.1 ± 5.4 kg and 71.9 ± 6.1 cm, 64.2 ± 6.1 cm and 58.9 ± 5.2 cm for Boer crossbreds.

Typology of goat production systems

The amount of variation explained by each dimension of the MCA (inertia) is given in Figure 1. From this, we retained only the first three dimensions (39.8% of the total variance) because each additional dimension contributed little to the total variance.

Figure 2 shows the distribution of herds according to the first (19.3% of the total variance) and second (11.5% of the total variance) dimensions. The first dimension distinguished two types of herds. On the right of Figure 2, are large herds where goats graze freely in communal pastures; farmers have a market-driven objective for breeding (positive values). On the left, are small herds kept in MCLS in which goats are stall-fed with forage crops; the main objective for breeding goats is to produce manure (negative values). The second dimension discriminated two reverse types of herds. On one side are herds in MCLS in which goats are stall-fed with forage crops and on the other side, herds kept for sale to generate high income (positive values). Between these two opposite practices exist a third intermediate situation consisting in herds kept under the herding/tethering mode in which goats graze either in communal or individual pastures and that generate medium income (negative values). Figure 3 shows the distribution of herds according to the second and third dimension (8.9% of the total variance). The third dimension discriminated herds in which goats are kept under the herding/tethering mode with individual pastures (positive values) from those in which goats are kept under the free grazing mode with communal pastures (negative values).

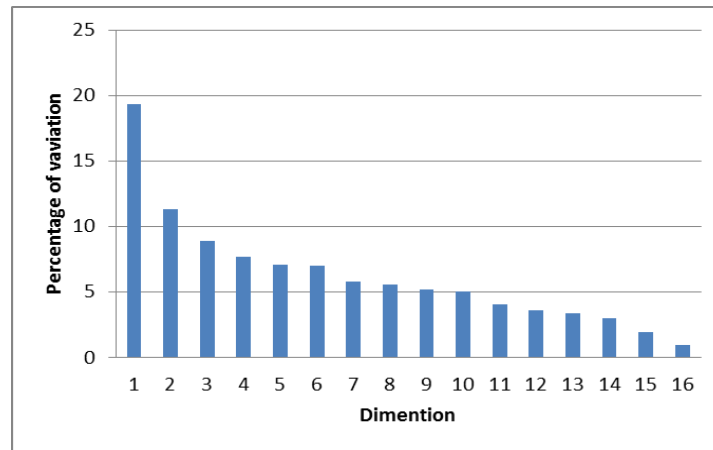


Figure 1: Percentage of contribution of each dimension to the total inertia
MCA factor map

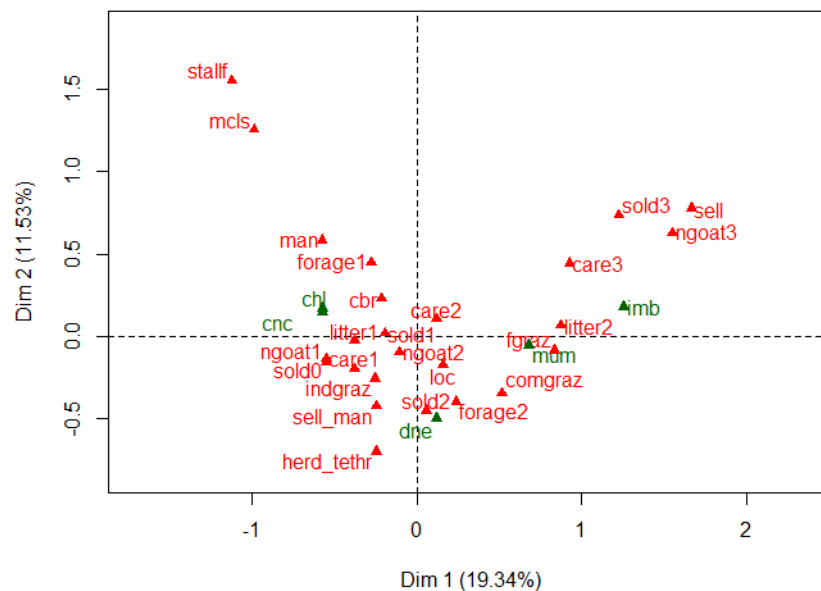


Figure 2: Result of the multiple correspondence analysis: Graphical representation of modalities for the first (Dim1) and second (Dim 2) dimensions

care1=low spending in veterinary care, care2=medium spending in veterinary care, care3=high spending in veterinary care, cbr=mixed flock with indigenous and crossbreds, chl=central highlands, cnc=Congo Nil crest, comgraz=communal grazing, dne=Depressions of Northeast, fgraz=free grazing, forage1=use of forage crops, forage2=no use of forage crops, herd_teth=herding/tethering, imb= Imbo, indgraz=individual pastures, litter1=presence of litter, litter2=absence of litter, loc=local flock, man=manure, mcls=mixed crop livestock system, ngoat1=small herds, ngoat2=medium herds, ngoat3=large herds, sell=sale of goats, sell_man=sale of goats and manure, sold0=no sales of goats, sold1= low income from sales, sold2=medium income from sales, sold3=high income from goats sold. Green color=illustrative variable of agro climatic zone.

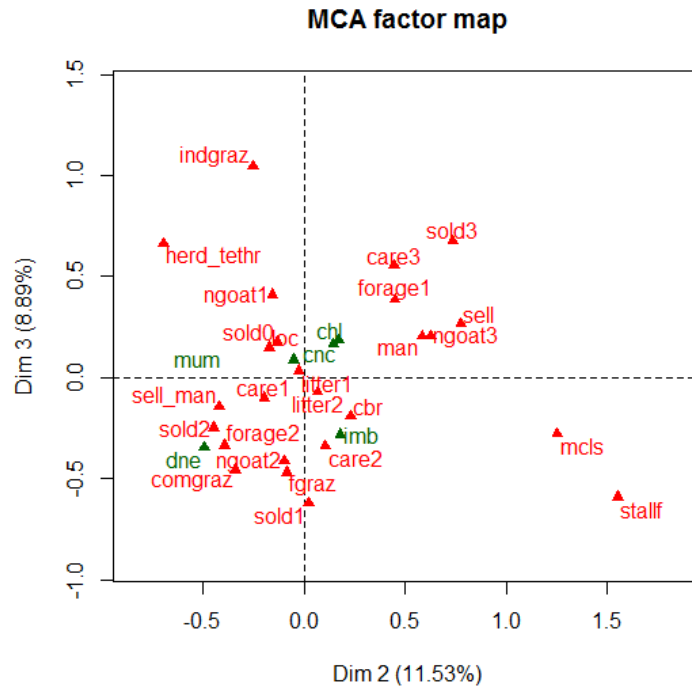


Figure 3: Result of the multiple correspondence analysis of the answers to a survey of goats keepers in Burundi: Graphical representation of modalities for the second (Dim 2) and third (Dim 3) dimensions

Results of the hierarchical classification analysis led us to define three clusters of farmers. Their distribution according to the first two dimensions identified in the MCA is given in Figure 4. All variables contributed significantly to the construction of the clusters (Table 2).

The first cluster (62 respondents) included farmers with small herds composed of local and crossbred goats kept in MCLS, mainly targeting manure production (both negative and positive values of the first and second MCA dimensions). A scrutiny of the percentages (Table 2) reveals that goats in these herds were mostly stall-fed with forage crops. About 61.3% of these 62 respondents had small (53.2%) to medium (43.6%) herds composed of indigenous and crossbred goats. They firstly kept goats either for manure (41.9%) or for sale (53.3%). Almost all of these farmers (93.5%) used litter to enhance the production of manure. Moreover, they spent little money on veterinary drugs (74.2%). Income from sale of goats was low (29%) and 45.2% of the farmers did not sell any animals. The majority of these farmers were in the CHL (63%) and CCN (30.6 %) zones.

The second cluster (194 respondents) included farmers of small herds composed of indigenous breed goats kept in herding/tethering mode, with less market characteristics. In this cluster, the predominant grazing mode was herding/tethering (56.4%), on either communal (58.8%) or on individual pastures (41.2%). The herd size was medium (52.5%) or small (42.2%). Around two-thirds of the respondents (61.3%) kept only pure indigenous goats. Income from the sale was either low (23.2%) or medium (23.2%) and 43.6% of the farmers did not sell their goats. The majority of the

respondents in this cluster (76.5%) firstly kept goats to produce manure and to sell the animals later. They were mostly farmers of the CHL 33.5%, DNE (26%) and CNC (18.6%) zones.

The last cluster (63 individuals) included farmers of large herds composed of indigenous breed goats (75.1%) which graze freely in communal pastures (81.1%). Around 70 % of them did not use forage crops to feed their goats. Herd size was greater than 10 heads (75.5%). Among of the 63 respondents, 86.8% primarily kept goats for sale and the level of income from these sales was high for 71.7% of them. This cluster was dominated by farmers located in the IMB (39.6%), MUM (37.7%) and DNE (19%) zones.

The main clients of goats sold by the respondents were significantly different among clusters. Breeders of cluster 1 sold their goats mostly to intermediaries whereas those of cluster 3 sold them to butchers or directly to the market. The time to reach the goat market place was significantly shorter in cluster 3 than in the others.

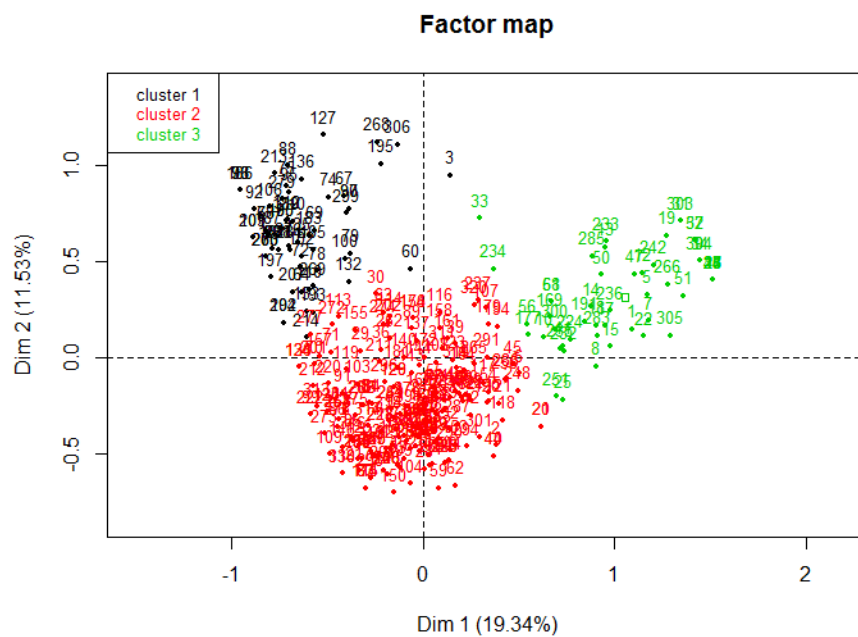


Figure 4: Graphic representation of the 3 clusters (numbers correspond to individuals interviewed) on the first two dimensions

Table 2: Percentage of responders per categories for the three clusters identified by the hierarchical classification analysis

Variables and categories	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Total	Stat [†]
Grazing mode					***
free grazing	0	37.7	88.7	38.9	
Herding/tethering	0	56.4	9.4	37.6	
Mixed crop livestock system	100	5.9	1.9	23.5	
Pasture area					***
Individual grazing	12.9	41.2	18.9	31.9	
Communal grazing	1.6	58.8	81.1	51.4	
Stall feeding	85.5	0	0	16.6	
Type of flock					*
flock with only pure indigenous goats	38.7	61.3	65.1	57.1	
flock with indigenous goats and Boer crossbreds	61.3	38.7	34.9	42.9	
Use of forage crops in the feed					**
yes	72.6	41.2	39.7	46.7	
no	27.4	58.8	60.3	53.3	
Presence of litter in the stall					***
yes	93.5	76.3	28.3	69.9	
no	6.5	23.7	71.7	30.1	
First purpose for keeping goat					***
manure	41.9	21.5	1.9	22.2	
sale	4.8	2	86.8	16.6	
both (manure and sale)e	53.3	76.5	11.3	61.2	
Size of the herds					***
Small: less than 5 heads	53.2	42.2	3.8	37.9	
Medium: 5 to 10 heads	43.6	52.3	20.7	45.5	
Large: over 10 heads	3.2	5.5	75.5	16.6	
Level of income from goats' sale (in the year before the survey)					***
no sales of goats	45.2	44.8	1.9	37	
Low: less than 50 000 BIF	29.0	23.2	9.4	22.6	
Medium: from 50,000 to 100,000 BIF	14.5	23.2	17	21.3	
High: more than 100,000 BIF	11.3	8.8	71.7	19.1	
Money spent for veterinary care (in the year before the survey)					***
Low: less than 5, 000 BIF	74.2	65.7	20.7	59.9	
Medium: from 5, 000 to 10, 000 BIF,	14.5	18.6	18.9	17.8	
High: more than 10, 000 BIF	11.3	15.7	60.4	22.3	
Agro-ecological zone					***
central highlands	63	33.5	1.9	33.8	
Congo Nil Crest	30.6	18.6	1.8	17.6	
Depressions of the Northeast	0	26.3	19	19.7	
Mumirwa	3.2	13.9	37.7	15.9	
Imbo	3.2	7.7	39.6	12.9	

[†]: statistical significance of the chi-square or exact Fisher's test for differences between clusters, *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001

Animal characteristics

Least-squares means (LSM) are given in Table 3. The LSM (\pm standard error) for BW, CG, BL and HW of crossbreds were 4.74 ± 0.93 kg, 4.78 ± 0.49 cm, 5.59 ± 0.55 cm and 4.82 ± 0.4 cm higher than those of the local breed, respectively. The LSM for BW, CG, BL and HW of goats more than 3 years old were respectively 14.58 ± 3.08 kg, 12.4 ± 0.86 cm, 9.41 ± 0.94 cm and 7.84 ± 0.79 cm higher than those from goats of lesser age. No significant difference was found in BW and linear measures between grazing modes. Males were slightly heavier than females with a non-significant difference of 2.41 ± 3.16 kg. The LSM of CG and HW for males were 3.15 ± 0.75 cm and 3.83 ± 0.7 cm higher than those of females. We found also difference between some AEZ: The BW of goats raised in DNE, MUM and IMB were 6.98 ± 2.46 kg, 4.53 ± 1.66 kg and 4.51 ± 0.58 kg heavier than those raised in CNC, respectively. The CG for goats raised in IMB and MUM zones were 3.57 ± 0.82 cm and 1.82 ± 0.86 cm higher than those raised in CNC, while those for goats raised in CNC, CHL and DNE were similar. BW and linear measurements for goats raised in CNC and CHL zones were similar.

Table 3: Least-square means (LSM) and standard errors (SE) of body measures per age group and sex, per type of breed and flock type and per grazing mode and agro ecological zone

Sex	Age group	BW (kg) (SE)	CG (cm) (SE)	BL (cm) (SE)	HW (cm) (SE)
Female	1 to 2 years	20.07 (0.61)	62.5 (0.36)	56.1 (0.39)	51.4 (0.34)
	2 to 3 years	23.75 (0.61)	67.1 (0.29)	58.8 (0.32)	54.0 (0.27)
	3 to 4 years	25.74 (0.63)	70.0 (0.33)	61.3 (0.36)	56.4 (0.31)
	over 4 years	27.46 (0.63)	72.2 (0.36)	63.9 (0.39)	57.9 (0.34)
Male	1 to 2 years	20.43 (0.79)	68.0 (0.74)	59.2 (0.83)	57.5 (0.70)
	2 to 3 years	23.39 (2.41)	75.9 (1.41)	67.5 (1.56)	63.0 (1.33)
	3 to 4 years	26.68 (1.25)	73.2 (2.82)	63.5 (3.13)	61.7 (2.65)
	over 4 years	28.93 (1.61)	82.0 (1.99)	72.9 (2.21)	65.8 (1.87)
Type of flock	type of breed				
Local flock	Local	22.06 (0.75)	67.2 (0.24)	59.0 (0.24)	54.3 (0.20)
Mixed flock	Boer crossbreds	27.73 (1.21)	71.9 (0.41)	64.2 (0.41)	59.0 (0.35)
	Local	23.89 (1.29)	67.1 (0.46)	58.9 (0.47)	53.9 (0.39)
Agro ecological zone	Grazing mode				
Congo-Nil-Crest	Mixed crops livestock system	23.12 (0.83)	67.8 (0.92)	59.3 (0.94)	53.7 (0.80)
	Herding	22.65 (1.26)	65.1 (0.86)	57.4 (0.87)	52.5 (0.75)
	Herding/tethering	23.32 (1.02)	67.9 (0.99)	58.0 (1.0)	53.9 (0.86)
Central highlands	Mixed crops livestock system	23.83 (0.55)	68.0 (0.62)	60.1 (0.63)	54.8 (0.54)
	Herding	23.03 (0.91)	66.7 (0.81)	58.5 (0.82)	53.2 (0.71)
	Herding/tethering	23.09 (0.92)	66.3 (0.55)	58.6 (0.56)	53.7 (0.47)
Depressions of Northeast	Mixed crops livestock system	26.51 (1.32)	72.4 (1.95)	63.6 (1.98)	59.6 (1.69)
	Herding	24.08 (0.55)	67.6 (0.49)	59.5 (0.5)	55.4 (0.43)
	Herding/tethering	25.49 (1.06)	66.5 (0.77)	58.4 (0.78)	54.7 (0.67)
Imbo	Herding	27.47 (0.87)	70.8 (0.45)	62.1 (0.46)	57.3 (0.39)
	Herding/tethering	27.62 (1.57)	69.5 (1.62)	62.3 (1.65)	56.2 (1.41)
Mumirwa	Mixed crops livestock system	23.02 (0.83)	70.1 (1.42)	63.7 (1.44)	57.8 (1.23)
	Herding	25.86 (0.72)	69.4 (0.57)	61.5 (0.58)	56.5 (0.49)
	Herding/tethering	24.75 (0.97)	67.6 (0.79)	60.0 (0.80)	54.7 (0.68)

BW: body weight; CG: chest girth; BL: body length and HW: height at withers

Discussion

The main goal of this study was to characterize smallholders' goat production systems and the impact of Boer crossbreeding on goats' body measurements in the perspective of providing information for implementing a genetic selection program in these herds.

Descriptive characteristics of herds and animals

After analyzing the answers to the questionnaire, the first finding was that almost no reproductive bucks were present in the herds. Indeed, they were sold too early (5.9 months on average), before the reproductive age, as it has been also reported in other studies of smallholders' goat production systems (Monau *et al.*, 2017; Manzi *et al.*, 2013; Kosgey *et al.*, 2008). Due to the huge consideration of goats as source of immediate and regular cash (74.1% of the respondents), kids with a high growth rate are often sold earlier. Tadesse *et al.* (2015) also underlined this observation. It could lead to the so-called “negative selection” by excluding the best bucks from reproduction. Furthermore, it could result in an increase of the inbreeding level in these herds because only a small number of bucks are exchanged among farmers and this increases the likelihood of close relative mating (Monau *et al.*, 2017). The absence of reproductive bucks and the negative selection highlight the necessity of a genetic management program. However, the low literacy level of the farmers and the small size of their herds are issues that could impede such a program. Indeed, recording animal performances and pedigree, both the basics of genetic evaluation, is logistically more feasible in large herds and with trained farmers (FAO, 2016; Kosgey *et al.*, 2008).

A second finding was that more than half of the farmers prefer larger crossbred than smaller indigenous goats. Note however, crossbreeding is only appropriate when animals are housed and fed appropriately so they may express their genetic potential (Zonabend *et al.*, 2017). Whereas Boer crossbreds are advantageous in body size, indigenous animals are more disease resistant as was previously reported (Tindano *et al.*, 2017). This suggests that the best larger indigenous animals, which are more adapted to the prevailing conditions, would be selected as parents of new generations.

Typology of goat production systems

A third finding was the observation that breeding objectives and practices are different across groups of farmers, as shown by the results of the multivariate analyses. These results reveal two opposite groups from the point-of-view of AEZ, grazing management, herd size, and market characteristics (and one intermediate).

On one side, there is a group of farmers more interested in producing manure than the goats themselves. Herds are small and farmers tend progressively to keep their animals in the enclosure (MCLS) and to raise Boer crossbreds. This group is located in humid CHL and CNC zones where manure is crucial for renewing the soil fertility of the doubled-cropped fields (Cochet, 2004). An

explanation for these findings is linked to the high population pressure in those zones, which may lead to low availability of grazing areas as was reported by Kosgey and Okeyo (2007). These authors highlighted that MCLS is mainly found in areas with medium to high agricultural potential. In Rwanda, with a high population density like in Burundi, free grazing practice tend to be replaced by zero grazing (Manzi *et al.*, 2013). Apart from the advantages of producing high quantities of manure, the trend towards the MLCS would allow to better control mating and this is necessary if one wishes to install a genetic selection program. Nonetheless, the greater interest of these farmers to produce manure than to sell goats and the low flock size could hinder its sustainability. Indeed, many authors have reported that the sustainability of breeding programs for local breeds of small ruminants in low-input production systems depends on farmers' interest, resulting from socio-economic context of production (Biscarini *et al.*, 2015; Kosgey *et al.*, 2006).

The second group of farmers is mostly interested in selling their animals. This group is located in the lowlands of IMB, MUM and DNE where herds tends to be large (over 10 goats) and animals to graze freely in communal pastures. These results corroborate those of Kosgey and Okeyo (2007) who concluded that large indigenous herds are predominant in areas with low agricultural potential. This may be attributed to the long dry season (5 to 6 months) which limits forage crops production required for MCLS adoption. This group of farmers is likely to respond favorably to the establishment of a genetic program, especially because they tend to be more market-oriented than the first group. Indeed, they sell their animals directly to butchers and markets and not to intermediaries, which shows that these zones are more goat-meat consumers than humid highlands. These high market characteristics were underlined as the main drivers of a breeding program (Gobena and Tona, 2017; Tadesse *et al.*, 2015). However, animals are often left without any supervision during the day, making the mating control rather difficult as underlined by Tindano *et al.* (2017).

Animal characteristics

A fourth finding was that mean BW of Boer crossbreeds were higher than mean BW of indigenous goats, as reported elsewhere (Deribe *et al.*, 2015; Kalenga *et al.*, 2015), but smaller than the 28.7 kg theoretically expected. This theoretical value was obtained by averaging the weights of our indigenous goats (22.3 ± 4.1 kg) and the weights of pure Boer goats raised under extensive humid tropical conditions (35.1 ± 1.32 kg) as reported by Nguluma *et al.* (2013). Similarly, a small BW increase was reported for crossbred goats in Ethiopia (Deribe *et al.*, 2015). They stated that birth and weaning weights of Boer crossbreeds were significantly higher than weights of local breeds, but the differences dwindled as the age of kids advanced. These observations may be explained by the management conditions that do not allow animals to express their genetic potential (e.g., shortage of forages and lack of concentrates, high disease pressure and low veterinary care). These findings confirm those of other researchers (Ayalew *et al.*, 2003; Kosgey *et al.*, 2006; Leroy *et al.*, 2016; Manirakiza *et al.*, 2017) and suggest that selective breeding within indigenous populations is a better choice than

crossbreeding because local breeds are best adapted and rationally productive in their harsh environments (Mirkena *et al.*, 2012; Mueller *et al.*, 2015)

Considering the other effects included in the statistical models, we should mention the lower weights and linear measures for goats raised in highlands (CHL and CNC) than in lowlands (DNE, IMB, MUM). An explanation for this may be that coldness and high relative humidity in highlands may affect production performances and compromise the immune system, which makes animals prone to diseases (Melissa *et al.*, 2017; Rashamol *et al.*, 2018).

Conclusions and recommendations

Goat breeding in Burundi seems better developed in the dry lowlands (where herds are large, mainly composed of indigenous breed and managed in extensive system, i.e., free grazing mode) than in the humid highlands (where herds are small, mixed with crossbreds and managed either in stall-feeding or in herding/tethering modes). Lowland farmers had higher market characteristics compared to those of the humid highlands who focused more on manure production than on the sale of goats. Boer crossbreds outperform indigenous animals but not to the level expected from the performances of the pure breeds. We suggest that policies aiming at managing goat genetic resources in Burundi should focus more on selecting superior animals within indigenous breed than on crossing them with Boer bucks.

Acknowledgements

Authors acknowledge FAO-Food Agriculture organization and ARES-Research and Higher Education Academy of Wallonie and Brussels for financial support. The authors thank enumerators and farmers who participate in data collection.

Discussion additionnelle

Les boucs Boer importés ont été diffusés dans les exploitations des régions humides de montagnes où les contrats entre les responsables des projets de repeuplement et les agri-éleveurs stipulaient que les animaux soient gardés en stabulation permanente. En effet, la diffusion des animaux était complémentaire à d'autres interventions dans le domaine agricole. L'approche des projets de repeuplement était de focaliser les interventions sur les bassins versants pour lutter contre l'érosion et développer d'autres activités agricoles. Pourtant dans son milieu d'origine, la plupart des animaux de cette race se trouvent en zones arides et sont bien adaptés en leur milieu d'origine (Erasmus, 2000). Le niveau d'amélioration des performances pourrait ainsi être élevé si ces boucs avaient été introduits dans les régions périphériques, là où l'élevage caprin semble être développé.

References

- Ayalew W., Rischkowsky B. and King J.M. 2003. Crossbreds did not generate more net benefits than indigenous goats in Ethiopian smallholdings. *Agricultural Systems*, 76, 1137–1156.
- Bidou J.E., Ndayirukiye S., Ndayishimiye J.P. and Sirven P. 1991. *Géographie du Burundi*. Hatier, ed. Paris, 251 p.
- Biscarini F., Nicolazzi E., Alessandra S., Boettcher P. and Gandini G. 2015. Challenges and opportunities in genetic improvement of local livestock breeds, *Frontiers in Genetics*, 6, 33–39.
- Campbell Q.P. 2003. The origin and description of southern Africa's indigenous goats. *South African Journal of Animal Science*, 4, 18–22.
- Cochet H. 2004. Agrarian dynamics, population growth and resource management: The case of Burundi. *GeoJournal*, 60, 111–122.
- Darcan N.K. and Silanikove N. 2018. The advantages of goats for future adaptation to Climate Change: A conceptual overview. *Small Ruminant Research*, 163, 34–38.
- Deribe B., Tilahun M, Lakew M., Belayneh N., Zegeye A., Walle M., Ayichew D., Ali S.T. and Abriham S. 2015. On station growth performance of crossbred goats (Boer X central highland) at Sirinka, Ethiopia. *Asian Journal of Animal Science*, 9, 454–459.
- Devendra C. 2010. Concluding synthesis and the future for sustainable goat production. *Small Ruminant Research*, 89, 126–131.
- Erasmus J.A. 2000. Adaptation to various environments and resistance to disease of the Improved Boer goat. *Small Ruminant Research*, 36, 179–187.
- FAO 2012. Phenotypic characterization of animal genetic resources. *FAO Animal Production and Health Guidelines No. 11*. Rome.
- FAO 2016. Development of integrated multipurpose animal recording systems. *FAO Animal Production and Health Guidelines. No. 19*. Rome.
- Gobena M.M. and Tona M.G. 2017. Sheep production system, marketing and constraints in Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 7, 34–42.
- Husson F., Josse J. and Pagès J. 2010. Analyse de données avec R - Complémentarité des méthodes d'analyse factorielle et de classification pp 1–6, in: 42ème Journée de Statistique. Marseille.
- Jeníček V. and Grofová S. 2015. Least developed countries – the case of Burundi. *Agricultural Economics*, 61, 234–247.
- Kalenga H.K., Vandenput S., Antoine-Moussiaux N., Moula N., Kashala J.C.K., Farnir F. and Leroy P. 2015. Amélioration génétique caprine à Lubumbashi (RDC): 3. Analyse de la croissance de chevreaux hybrides F1Boer x race locale. *Livestock Research for Rural Development* 27: 12 <http://www.lrrd.org/lrrd27/12/kale27239.html> Assessed 22, April 2019.

- Kosgey I.S. and Okeyo A.M. 2007. Genetic improvement of small ruminants in low-input smallholder production systems: Technical and infrastructural issues. *Small Ruminant Research*, 70, 76–88.
- Kosgey I.S., Rowlands G.J., Van Arendonk J.A.M. and Baker R.L. 2008. Small ruminant production in smallholder and pastoral/extensive farming systems in Kenya. *Small Ruminant Research*, 77, 11–24.
- Kosgey I.S., Baker R.L., Udo H.M.J. and Van Arendonk J.A.M. 2006. Successes and failures of small ruminant breeding programs in the tropics: A review. *Small Ruminant Research*, 61, 13–28.
- Lê S., Josse J., Husson F. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal Statistical Software*, 25, 1–18.
- Leroy G., Baumung R., Boettcher P. and Hoffmann I. 2016. Review : Sustainability of crossbreeding in developing countries ; definitely not like crossing a meadow. *Animal*, 10, 262–273.
- Malan S.W. 2000. The improved Boer goat. *Small Ruminant Research*, 36, 165–170.
- Manirakiza J., Hatungumukama G., Thévenon S., Gautier M., Besbes B., Flori L. and Detilleux J. 2017. Effect of genetic European taurine ancestry on milk yield of Ankole-Holstein crossbred dairy cattle in mixed smallholders system of Burundi highlands. *Animal Genetics*, 48, 544–550.
- Manzi M., Mutabazi J., Hirwa C.D. and Kugonza D.R. 2013. Socio-economic assessment of indigenous goat production system in rural areas of Bugesera District in Rwanda. *Livestock Research for Rural Development*, 25, 11. <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/manz25205.htm> Assessed 23 April 2019.
- Melissa R.D.M., Pouyan N.A., Harrigan T. and. Woznicki S.A. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145–163.
- Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2017. Enquête nationale agricole. Campagne agricole 2015-2016. République du Burundi, Bujumbura, 131 p.
- Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2010. Stratégie Agricole Nationale. Document d'orientation stratégique pour le secteur de l'Elevage au Burundi. République du Burundi, Bujumbura, 117 p.
- Ministère de l'Intérieur. 2010. Résultats définitifs du troisième recensement général de la population et de l'habitat de 2008. République du Burundi, Bujumbura, 87 p.
- Mirkena T., Duguma G., William A., Wurzinger M., Haille A., Rischkowsky B., Okeyo A.M., Tibbo M. and Solkner J. 2012. Community-based alternative breeding plans for indigenous sheep breeds in four agro-ecological zones of Ethiopia. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 129, 244–253.
- Monau P.I., Visser C., Nsoso S.J. and Van Marle-Köster E. 2017. A survey analysis of indigenous goat production in communal farming systems of Botswana. *Tropical Animal Health and Production*, 49, 1265–1271.

- Mueller J.P., Rischkowsky B., Haile A., Philipsson J., Mwai O., Besbes B., Valle Zárate A., Tibbo M., Mirkena T., Duguma G., Sölkner J. and Wurzinger M. 2015. Community-based livestock breeding programs: Essentials and examples. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 132, 155–168.
- Nguluma A., Leite-Browning M.L. and Browning J.R. 2013. Comparison of Boer-Cross and foundation breeds for meat goat doe fitness in the humid subtropics. *Livestock Research for Rural Development*, 25. <http://www.lrrd.org/lrrd25/3/ngul25038.htm> Assessed 23 April 2019.
- Otte M.J. and Chilonda P. 2002. Cattle and small ruminant production systems in sub-Saharan Africa. A systematic review. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Peacock C. 2005. Goats—A pathway out of poverty. *Small Ruminant Research*, 60, 179–186.
- Pragna P., Surinder S.C., Veerasamy S., Leury B.J. and Dunshea F.R. 2018. Climate Change and Goat Production: Enteric Methane Emission and Its Mitigation. *Animals*, 8, 235.
- Rashamol V.P., Sejian V., Bagath M., Krishnan G., Archana P.R. and Bhatta R. 2018. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behavior and Biometeorology*, 6, 62–71.
- Skapetas B. and Bampidis V. 2016. Goat production in the World: present situation and trends. *Livestock Research for Rural Development*, 28, 11. <http://www.lrrd.org/lrrd28/11/skap28200.htm> Assessed 30 Sept 2019.
- Tadesse E., Negesse T. and Abebe G. 2015. Sheep production and marketing system in southern Ethiopia: the case of Awassazuria district. *Tropical Animal Health and Production*, 47, 1417–1425.
- Tarawali S., Herrero M., Descheemaeker K., Grings E. and Blümmel M. 2011. Pathways for sustainable development of mixed crop livestock systems: Taking a livestock and pro-poor approach. *Livestock Science*, 139, 11–21.
- Tindano K., Moula N., Traoré A., Leroy P. and Antoine-Moussiaux N. 2017. Assessing the diversity of preferences of suburban smallholder sheep keepers for breeding rams in Ouagadougou, Burkina Faso. *Tropical Animal Health and Production*, 49, 1187–1193.
- Wilson R.T. 1991. Small ruminant production and the small ruminant genetic resource in tropical Africa. FAO Animal Production and Health Paper 88. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Zonabend K.E., Strandberg E., Ojango J.M.K., Mirkena T., Okeyo A.M. and Philipsson J. 2017. Pure breeding of Red Maasai and crossbreeding with Dorper sheep in different environments in Kenya. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 134, 531–544.

IC. Conclusion partielle

A ce stade de la recherche de cette thèse, nous avons pu observer que les animaux croisés n'extériorisent pas le potentiel génétique attendu. En effet, il était supposé que les vaches laitières produisent entre de 8-12 litres et les croisés Boer aient un poids supérieur à 30 kg pour compenser les frais liés à l'importation des animaux (MINEAGRIE/Burundi, 2010). Les causes potentielles de ces résultats seraient les conditions d'élevage non adaptées et les faibles capacités techniques des agri-éleveurs. La restriction de l'espace limite aussi les possibilités d'extension des champs aux cultures fourragères alors que celles-ci pourraient fournir du fourrage en suffisance car les petits agri-éleveurs ne disposent pas assez de moyens financiers que pour acheter les concentrés.

Suite à cela, il serait logique de promouvoir la sélection (plutôt que le croisement) au travers de l'élevage d'animaux de race locale mieux aptes à s'adapter aux conditions difficiles du milieu. Pour être efficace, un programme de sélection en milieu rural ne doit se faire sur un nombre d'animaux suffisant que pour pouvoir choisir parmi eux les parents des générations futures. Cependant, la restriction de l'espace rural oblige les exploitants à réduire le nombre de bovins qu'ils peuvent détenir à 1 ou 2, et au maximum 3 vaches. Dans ces conditions, il reste difficile d'envisager de mettre en place un programme de sélection chez les bovins. Les actions de développement en élevage bovin devraient se focaliser ainsi sur le renforcement des capacités techniques des agri-éleveurs pour améliorer la rentabilité économique de cet élevage de bovins laitiers à petite échelle et sur les voies de conservation de la race locale. Par contre, la chèvre de race locale en système extensif domine en milieu rural. Les agri-éleveurs apprécient sa meilleure résistance aux maladies par rapport aux croisés Boer. Ces derniers sont par contre fort appréciés pour leur grand gabarit et leur prix de vente plus élevé que celui des animaux de race locale. Cependant, les résultats ont montré que le mode de conduite en gardiennage dans les régions périphériques (où l'élevage caprin semble être développé) ne favorise pas l'identification des animaux et la gestion de la reproduction. Dans les régions humides de montagnes, les limites d'un programme de sélection seraient plutôt liées aux faibles effectifs et à l'objectif d'élevage beaucoup plus orienté vers la production du fumier, ce qui n'inciterait pas d'intérêt pour les agri-éleveurs à participer à l'amélioration génétique de la chèvre. Ces considérations posent la question: comment adapter un programme de sélection de cette race aux conditions socioéconomiques du milieu villageois burundais ?

Les organisations paysannes sont supposées jouer un rôle important dans l'amélioration des capacités organisationnelles des petits exploitants et dans l'amélioration des races locales à base communautaire, comme stipulé dans l'introduction générale. Au Burundi, des mesures de renforcement des capacités techniques des agri-éleveurs ont été initiées par le Gouvernement via les organisations des producteurs sous forme de CEPs. La deuxième partie aborde donc la pertinence des CEPs dans le renforcement des capacités productives des agri-éleveurs de bovins et caprins et dans la mise en place d'un programme de sélection de la chèvre de race locale.

**Partie II. Pertinence des champ-école-paysans pour le
renforcement des capacités productives des agri-éleveurs et
la mise en place d'un programme de sélection de la chèvre
locale**

Préambule

Cette partie est consacrée à l'évaluation de l'efficacité et la pertinence des CEPs pour le renforcement des capacités productives des agri-éleveurs et l'amélioration de la productivité économique des élevages de bovins et de caprins, afin de recommander ou pas cette approche dans les stratégies de gestion durable des ressources génétiques animales au Burundi. Elle comporte quatre sections.

- IIA : un descriptif des CEPs et leur mise en place au Burundi
- IIB : les résultats d'une étude sur l'évaluation de l'efficacité des CEPs dans l'adoption des innovations et l'amélioration de la productivité des élevages bovins laitiers en milieu rural burundais. Ces résultats sont présentés sous la forme d'un article à soumettre.
- IIC : les résultats d'une étude sur l'évaluation socioéconomique de la pertinence des CEPs pour la mise en place d'un programme de sélection de la chèvre de race locale. Ces résultats sont présentés sous forme d'un article soumis dans « *Animal* » et qui est actuellement en phase de corrections pour être accepté.
- IID : une conclusion partielle

IIA. Descriptif des champ-école-paysans et leur mise en place au Burundi

Les CEPs sont des espaces où des producteurs (en groupe de 25 à 30) se rencontrent régulièrement autour d'un thème spécifique à leurs systèmes de production. Les expériences et les savoirs sont partagés de façon libre et chacun apprend de l'autre. Un facilitateur guide les membres du groupe dans leur recherche et les aide à diagnostiquer un problème et trouver une solution (FAO, 2018 ; Braun et Duveskog, 2011). Les CEPs sont apparus dans le domaine agricole en 1989, en Indonésie, pour assister les agriculteurs dans leur lutte contre les insectes et les dégâts qu'ils causent à leurs champs rizières (Braun et Duveskog, 2011). Ils se sont ensuite répandus en Asie et en Afrique de l'Est pour encadrer les agri-éleveurs et améliorer leur niveau de subsistance, que ce soit dans le domaine agricole ou dans celui de l'élevage (Braun et Duveskog, 2011).

Les avantages des CEPs sont le renforcement des compétences techniques des agri-éleveurs et la création d'un réseau de solidarité sociale où les paysans discutent de leurs problèmes, partagent leurs expériences et s'entraident mutuellement. Les CEPs constitueraient également une fenêtre de négociation pour écouler les produits des membres et pour rechercher des crédits. Ils permettent aussi de renforcer les liens avec les institutions de recherche et de développement (De Vries, 2008). Enfin, les innovations validées par les membres des CEPs sont facilement appliquées et adoptées par les non-bénéficiaires (FAO, 2018). Cependant, la mise en œuvre des CEPs peut présenter des difficultés du fait du coût de leurs créations, des exigences en capacités organisationnelles et en temps car les agriculteurs sont souvent très pris par leurs activités personnelles (Khatam *et al.*, 2010). Par

conséquent, il faut que le facilitateur ait de bonnes capacités organisationnelles et maîtrise bien l'environnement socioéconomique dans lequel il est amené à travailler (Braun et Duveskog, 2011). D'autres contraintes susceptibles de limiter l'adoption et la durabilité des innovations dans les CEPs sont l'accès restreint aux intrants chez les membres dont la plupart disposent d'un faible niveau de revenu et la disponibilité du marché permettant une bonne rentabilité économique des activités des CEPs (Waddington *et al.*, 2014).

Au Burundi, les CEPs ont été officiellement vulgarisées comme mode d'encadrement des agri-éleveurs à partir des années 2014 (MINEAGRIE/Burundi, 2014). Dans le secteur de l'élevage, les CEPs se sont focalisés sur l'élevage bovin laitier. Ils ont été initiés dans le but d'assurer un encadrement technique de proximité des bénéficiaires de la politique de repeuplement du cheptel qui a débuté à partir des années 2000. Un kit d'accompagnement (6 sacs de ciment, quelques médicaments et des semences des cultures fourragères) était octroyé au premiers bénéficiaires. Ces derniers devaient rembourser la première naissance et le ciment aux bénéficiaires suivants dans la chaîne (PAIVA-B/Burundi, 2015).

Pour la mise en place des CEPs, la première étape a été la formation de formateurs qui a eu lieu au Kenya sur financement des projets du FIDA et de la FAO. Ces formateurs devaient à leur tour former des animateurs ou facilitateurs locaux. Ces derniers devaient être identifiés au niveau des collines d'interventions des projets selon le niveau d'étude. Généralement, ceux qui avaient atteint l'école secondaire avaient la chance d'être élus. Cependant, par manque de facilitateurs formés en milieu rural, c'étaient souvent des techniciens vétérinaires communaux qui assurent cette fonction. Ces derniers devaient ensuite initier la création des CEPs sur les collines d'intervention, sous la supervision des services vétérinaires provinciaux et des responsables des projets. Ces CEPs devaient être constitués de 25 à 30 membres dont au moins 50% de femmes (FAO, 2018). Les membres prioritaires étaient ceux ayant reçu une vache dans le cadre de la chaîne de solidarité communautaire bovine, mais les CEPs incluaient également ceux qui désiraient entrer dans la chaîne et les non-bénéficiaires disposant de leurs propres vaches. Cependant, une certaine réticence a été observée surtout chez ces derniers, suite probablement aux exigences en temps nécessaire pour suivre les formations et au manque de motivation lié au fait qu'ils ne se sentaient pas concernés par le programme. En effet, les membres des CEPs devaient suivre une formation pratique et théorique durant un an avec une réunion toutes les semaines. Pour permettre l'adoption des technologies apprises, certaines mesures d'accompagnement avaient été initiées, comme la mise en place de petites boutiques d'intrants au niveau des centres de collecte du lait (PAIVA-B/Burundi, 2015). Cependant, l'approvisionnement de ces boutiques d'intrants n'était pas régulier.

A partir de 2015, l'Université du Burundi en collaboration avec l'Université de Liège et grâce à un financement de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES), ont mis en place

un projet de recherche-développement visant à évaluer les possibilités d'amélioration des performances de la race caprine locale par la sélection génétique. L'encadrement des agri-éleveurs se fait au travers les CEPs qui ont été organisés dans deux provinces, la province de Gitega, représentative des régions humides des montagnes et la province de Rutana, représentative des régions de basses altitudes. Deux communes ont été identifiées dans chaque province (Figure 1). Ces communes étaient identifiées en collaboration avec les services vétérinaires et l'administration provinciale et les priorités étaient accordées aux communes n'ayant pas bénéficié des autres appuis des projets. Dans chacune de ces communes, deux collines et 15 agri-éleveurs par colline ont été identifiés pour former un CEP. Pour cela, des séances de formation et de sensibilisation étaient menées sur les collines ciblées avec toute la population. Par après, les agri-éleveurs devaient se faire inscrire sur leur volonté à participer au projet. Des descentes de validation des membres ont été ensuite organisées. Les critères étaient l'expérience en élevage caprin (avoir au moins 3 chèvres comme garanti de protection du noyau de sélection octroyé par le projet), avoir une propriété d'au moins 0,5 ha pour installer les cultures fourragères et un niveau d'éducation primaire pour pouvoir participer dans l'enregistrement des événements sur les animaux. Les agri-éleveurs ciblés ont suivi des formations portant sur l'intégration des cultures fourragères dans leurs propriétés, sur la santé animale et sur la gestion de la reproduction. En 2016, après une année de préparation, chaque agri-éleveur a reçu 5 chèvres reproductrices. Un bouc reproducteur a été partagé entre 2 ménages. Au niveau de chaque colline d'intervention, le suivi vétérinaire et l'enregistrement des performances de croissance des chevreaux ont été confiés aux agents communautaires de santé animale préalablement formés, en collaboration avec un technicien vétérinaire communal. Afin de limiter les accouplements entre animaux apparentés, les boucs étaient échangés entre les collines chaque année. Dans la province de Gitega, le mode de conduite en stabulation a permis le contrôle de la reproduction. Par contre, le contrôle des saillies était plus difficile dans la province Rutana où le mode de conduite est le gardiennage. Dans cette commune, les membres des CEPs ont été sensibilisés à la pratique du gardiennage individuel et seuls les 2 ménages qui se partageaient un bouc étaient autorisés à laisser pâturer leurs troupeaux ensemble. Cette stratégie reposait sur le principe que les membres se surveillaient les uns les autres et imposaient des amendes en cas de non-respect des règles.

Les deux sections qui suivent sont consacrées aux résultats de deux études menées pour évaluer l'efficacité des CEPs dans l'amélioration de la productivité des élevages bovins laitiers et caprins et leur pertinence pour la mise en place d'un programme de sélection de la chèvre locale en milieu rural.

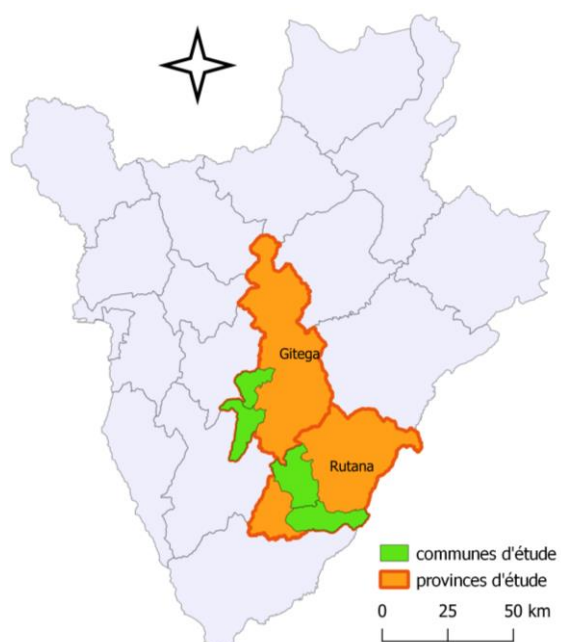


Figure 1. Provinces et Communes ciblées pour l'initiation de 4 champ-école-paysans pilotes pour étudier les possibilités de mettre en place un programme de sélection de lachèvre locale burundaise

IIB. Efficacité des champ-école-paysans dans l'adoption des technologies et l'amélioration de la productivité des élevages bovins laitiers en système à faibles intrants

Résumé

L'élevage des bovins laitiers est considéré comme l'un des moyens essentiels de répondre à la demande croissante en lait et à la réduction de la pauvreté rurale, en particulier dans les pays en développement. Pour améliorer sa productivité, de nombreuses approches ont été testées, telles que les CEPs. Le but de cette étude est d'évaluer l'efficacité de l'approche CEP dans l'adoption des technologies introduites au travers les projets de développement rural et dans l'amélioration de la productivité économique de l'élevage bovin laitier au Burundi, en tenant compte de sa multifonctionnalité. A cette fin, une enquête a été menée auprès de 58 membres des CEPs et de 47 non-membres. Les taux d'adoption des technologies ont été calculés entre membres et non-membres des CEPs ainsi que les revenus brut et net d'exploitation par vache et par an. Les résultats ont révélé des taux d'adoption plus élevés chez les membres que les non-membres pour l'installation d'un sol cimenté (98,3 contre 0%), la fabrication et l'utilisation des blocs à lécher (91,4 contre 36,4%), le compostage amélioré (86,2 contre 18,2%) et l'installation et l'utilisation du *Calliandra sp.* en alimentation des animaux (48,5 contre 17,6%). L'intégration des haies de graminées sur les courbes de niveaux des exploitations, la complémentation avec les sons de céréales, le détiquetage des bovins à l'aide de la pulvérisation d'acaricide et la vermifération étaient connus de tous les répondants avant même la période de formation. Les membres des CEPs ont déclaré qu'ils ont augmenté la quantité de fourrages produite et la fréquence de pulvérisation d'acaricide. Le revenu brut d'exploitation était légèrement élevé pour les membres des CEPs (médiane de 249 dollars) par rapport aux non-membres (médiane de 231 dollars). Les revenus nets d'exploitation étaient similaires pour les deux groupes (médianes de 219 et 218 dollars pour les membres et les non-membres des CEPs respectivement). A côté de ces effets bénéfiques, les agri-éleveurs interviewés mentionnent cependant que la faible disponibilité d'intrants, les faibles revenus issus de la vente du lait, la complexité et/ou le prix élevé de certaines pratiques limitent l'efficacité de l'approche CEP.

Mots-clés: Champ-école-élevage, paquets technologiques, rentabilité économique, multifonctionnalité, vache laitière.

Effectiveness of farmer field school to improve small scale dairy cattle productivity in low-input systems

Manirakiza J.^{1,2}, Hatungumukama G.¹ Camara Y². Detilleux J.²

1 Department of Animal Health and Productions, Faculty of Agronomy and Bioengineering, University of Burundi, B.P. 2940, Bujumbura, Burundi.

2 Fundamental and Applied Research for Animals and Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liège - 6 avenue de Cureghem, 4000 Liège, Belgium.

Abstract

Dairy farming is seen as an important means to meet the growing demand for milk and to reduce rural poverty, especially in developing countries. To improve its productivity, many agricultural approaches have been tried among which the farmer-field-school (FFS) one. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of the FFS approach in terms of adoption of technologies introduced through rural development projects and in improving the economic productivity of dairy cattle farming in Burundi, taking into account its multifunctionality. To that end, a survey was conducted among 58 FFS members and 47 non-members. Technology adoption rates were calculated among FFS and non-FFS members, as well as gross and net operating profits per cow and year. The results showed higher adoption rates among FFS than non-FFS respondents for cemented floor installation (98.3 vs 0%), manufacture and utilisation of traditional lick-blocks (91.4vs 36.4%), manure composting (86.2 vs 18.2%) and installation and utilisation of *Calliandra sp.* in animal feeding (48.5 vs 17.6%). Integration of grass-hedgerows into the crop-fields, complementation with cereal brans, acaricid spraying and deworming were commonly used by respondents even before the FFS training period. FFS-members increased the quantity of forage produced and the frequency of acaricid spraying. The annual gross operating profit was slightly higher for the FFS group (median of 249 dollars) than that for the non-FFS one (median of 231dollars). Net operating profits appeared as similar between the two groups (median of 219 and 218 dollars, for FFS and non-FFS members respectively). However, besides these beneficial effects, the interviewed farmers mentioned that the low availability of inputs, the low incomes from the sale of milk, the complexity and/or the high price of certain practices limit the effectiveness of the FFS approach.

Key-words: Farmer-field-school, improved technologies, economic profitability, multi-functionality, dairy cattle.

Introduction

Dairy farming is seen as an important means of meeting the growing demand for milk and reducing rural poverty, particularly in developing countries (Groot *et al.*, 2016; Kidoido and Korir, 2015). It is perceived as a multi-purpose activity that increases the level of diversification of livelihoods and reinforces the synergy with crop production (Tarawali *et al.*, 2011). Dairy farming also has a significant social impact by creating jobs through dairy cooperatives and providing a feed market to neighbors without dairy cattle (Balak and Mukul, 2015; Udo *et al.*, 2011). However, this sector still faces many challenges that have limited its potential in terms of cow's milk productivity (Leroy *et al.*, 2015). Indeed, sustainable improvement of milk production involves appropriate agricultural innovations (including feed, selection and health care), a value chain approach and a market-based production (FAO, 2018).

Public agricultural extension services have long been seen as an essential means of enabling farmers to take ownership of these technologies. However, they have been criticized for their inability to do so satisfactorily, due to difficulties to reach marginalized farmers and the resistance of some farmers to changing their habits (Ponniah, 2007; FAO, 2018). New agricultural innovation approaches have been tried, particularly in eastern and southern Africa (Kilelu *et al.*, 2013), one of these is the farmer-field-schools (FFS). This approach assumes that small-scale dairy farmers will adopt innovations that they will have tested and validated (FAO, 2018). Another expected result of FFS is the spin-off effects for non-FFS farmers living in the same communities as FFS farmers, through information, dissemination and replication of technologies (Waddington *et al.*, 2014; Butt *et al.*, 2015). However, the effectiveness of the FFS approach must address the problems associated with low-input farmer systems. These include, for example, the limited access to inputs and markets and the farmers' attitudes (Butt *et al.*, 2015; Waddington *et al.*, 2014).

In Burundi, small-scale dairy farms (1 to 3 dairy cows) have received a particular attention as a strategic way to overcome hunger and poverty. Indeed, after a decade of civil war (1993-2002), the Government promoted, through rural development projects, the introduction of dairy cattle into smallholding systems, particularly in the densely populated highlands. This was reinforced by a community solidarity channel, in which the first beneficiary had to give his first calf to another beneficiary of the chain. Then, with a minimum of organization, a household with at least 0.5 ha of arable land would keep a dairy cow and the income from the sold milk would help the household out of poverty. However, Manirakiza *et al.* (2017) reported that dairy milk production was lower than expected. But farmers and policy makers continue to be more interest in dairy cattle than in other livestock species (Desiere *et al.*, 2015). Since 2014, the Ministry of Environment, Agriculture and Livestock through rural development projects, adopted the FFS approach and milk collection centers to increase both dairy production and market accessibility. In the following part, this will be called the

‘project’. Since the start of the project, FFS have been implemented throughout the country in parallel with the introduction of dairy cattle in smallholder farming systems and government livestock services have followed the activities. However, it is unclear whether the FFS approach is not constrained by rural area factors, including the low access to inputs required to adopt the innovations proposed within the FFS. It is also undocumented whether FFS can improve farmers' skills and the productivity of dairy farms. As suggested by Mvena *et al.* (2013), the effectiveness of the FFS approach should be understood as a measure of the achievement of its objectives in terms of acquisition and adoption of improved practices by FFS and neighboring non-FFS members as well as in ameliorating the herd economic productivity. Indicators of this economic productivity are usually the annual gross margin (AGM) and annual net margin (ANM) per the most limiting resource, like cow in our case (Datta *et al.*, 2019; Tokarev *et al.*, 2016; Kashish *et al.*, 2016).

Therefore, the present study aims at evaluating the effectiveness of the FFS approach in terms of adoption of the practices proposed within the FFS (adoption by the FFS and neighboring non-FFS farmers) and its economic impact taking into account dairy cattle multi-functionality.

Material and methods

Study area and data collection

The study was carried out in the provinces of Muramvya and Gitega, located in the central highlands, where most interventions of the project take place. The region is densely populated with an average number of 300 people per square kilometer. Based on advance information provided by key informants, we selected four pilot FFS with a focus on dairy cattle (2 in each province) that had finished the preliminary training period of one year. Within these FFS, we selected all FFS-members that showed a willingness to participate in the study (n=58). Non-FFS neighbor farmers that hold dairy cattle (n=47) were also selected by respondent-driven sampling, starting with two or three farmers identified by FFS members in each location.

Data were collected in two phases using various methods to understand the system, but also to ensure reliability and validity through triangulation. During the first phase (November 25 to December 10, 2018), we conducted interviews with various project contacts and organized four focus group discussions among FFS members. During the second phase (from July 18 to August 30, 2019), we organized one focus-group discussion among non-FFS members and conducted individual interviews with FFS and non-FFS members. During focus-group discussions, we animated semi-structured interviews on topics related to (1) dairy cattle functions and their importance to the interviewees; (2) livestock technologies acquired during the FFS training period, those adopted and the reasons for their adoption; and (3) the degree of willingness to continue FFS-activities after the end of project. During individual interviews, farmers (1) provided information on their main socioeconomic attributes and on

how they raise their cattle, (2) ranked the stated cattle functions using a proportional piling method with 100 “counters” (Gizaw et al., 2018), (3) enumerated the technologies they have adopted among those that have been learned and the reasons for their choice, and (4) provided the information required to estimate the annual costs and returns from their dairy cattle activity. These information included (1) expenditures and opportunity costs related to cattle breeding in the last year preceding the survey; (2) daily milk quantities collected during the first trimester, middle and end of lactation, which quantities were consumed at home and which were sold; (3) annual yields of the main crops before and after cattle keeping, and (4) herd dynamics i.e. the numbers of calving; animals sold, deaths and gifts.

Based on these information, we estimated the cash flow gross and net operating profits to assess whether farmers could get sufficient benefits, which enabling them to realize other investments and supporting current needs. The formula used was: annual gross value added = annual incomes - intermediate consumptions. Annual incomes were the sum of milk sales, that home consumed and eventual calves’ sales. Intermediate consumptions were the sum of veterinary expenses, eventual purchase of fodder, litter, concentrates and lick-blocks. The annual gross value added - paid labor was computed as the annual gross operating profit. The net operating profit was then computed as the annual gross operating profit – the annual barn depreciation. All these indicators were estimated per animal and year.

Next, an economic analysis was computed to take account the dairy cattle multi-functionality, by estimating the annual gross margin (AGM) and annual net margin (ANM) per cow, with the following formula: $AGM = AGR - AVC$ and $ANM = AGR - (AVC + AFC)$ where AGR = annual gross revenue, AVC = annual variable costs and AFC = annualized fixed costs. The AVC included the annual opportunity-cost of labor which is based on the time needed to cut and transport forage, to search for drinking water and litter, to clean the barn, to milk animals and to seed and weed forages. This was estimated based on daily salary for one man-day of 2000 BIF, with a work time of 8 hours. The AVC included also the eventual purchase of litter, forage, concentrates and lick-blocks and the expenses for veterinary care. As suggested by Kashish *et al.* (2016), we considered AFC include the annual depreciation cost of the barn which was estimated from our observations and the declarations of the farmer, and the annual interest on the value of the cow when it was given to the farmer (considering a cow is a credit that may be reimbursed). The interest rate was set at 10% because it is the rate used in saving and credit cooperatives in Burundi.

Annual gross revenues (AGR) were computed as the sum of the values for milk, manure, potential calves’ sales, saving/assurance and social functions of the animal during the year. Milk function was evaluated as the sum of quantities of milk sold and that consumed at home with a market price of 650 BIF/L. Values for manure were computed from the annual yield difference of the main crops that benefit from manure (i.e. beans, maize and banana) before and after cattle keeping. This

difference was multiplied by the market price of the crops and divided by the number of animals. As an indication, market price for beans was 1000 BIF/kg, for maize was 700 BIF/kg, for banana was 7000 BIF/bunch of bananas. To have an indication of the saving/assurance value of a cow, we computed the difference between its market price when it arrives in the herd (which is evaluated by livestock service agents at the day of donation) and its value when the survey was taken (which was evaluated with the help of a trader with experience in selling animals in collaboration with the farmer). To it, we added the values of its calves, and an interest in the estimate herd variation (with 10% of interest rate). The total was divided by the number of years the cow was in the herd. As an indication, market prices for a calf and an adult cow are about 650,000 BIF and 1,200,000 BIF, respectively. Finally, the social function of the animal was valued as the price of the calf given to the neighbor through the solidarity chain, divided by the number of years.

Data analysis

Summary statistics were computed for all variables. According to the nature of the data, student t-test, Chi-squared test, and Kruskal-Wallis were used to compare results between FFS and non-FFS members. This non-parametric test was chosen because residuals of a fixed effect model were not normally distributed with a null mean and a variance σ^2 (with a visual shape of the histogram and Shapiro-Wilk test). The p-values have been set at 10%.

Results

General characteristics of farmers and dairy farming

General characteristics of the farmers surveyed are summarized in Table 1. No significant difference was found between respondents of the FFS and non-FFS groups (overlap between ranges). They all lived on a land with an average size of 1.6 ha and had about 4 years of experience in rearing cattle. The level of education was moderate, with an average of 6 years of schooling. All FFS respondents had received a cow directly from the project or indirectly through the solidarity chain, while 75% of the non-FFS respondents were not supported by the project. The average number of cows reared was 2.2 heads. Among the 105 respondents, 43 had also pigs, 33 had goats and 11 had chickens. In term of dairy cattle management, all farmers had adopted semi-zero-grazing or stall-feeding, with cultivated grasses (*Trypsacum laxum* and *Pennisetum sp.*) and crop by-products as main feeds.

Overall, interviewees believed that agriculture and dairy cattle farming account for 61% and 39% of their livelihoods respectively. They perceived that the functions of livestock were mainly for the production of manure (37%) and milk (23%), but also for savings/insurance (19%), social prestige for the household (14%) and social role in the community through the solidarity chain (8%).

Table1. Means and standard deviations (sd), medians and ranges (minimum-maximum) for the characteristics of farmers surveyed according to their membership in a farmer-field school (FFS)

Characteristics	FFS respondents (n* = 58)			Non-FFS respondents (n = 47)		
	Mean (sd)	Median	Range	Mean (sd)	Median	Range
Farm size (ha)	1.3 (0.7)	1.2	0.5-3	1.7 (0.9)	1.6	0.5-4
Year of formal education	5.2 (2.2)	6	0-12	7.2 (2)	6	3-13
Age of the head of the household (years)	43.2 (10.6)	39.5	28-73	48.8 (13.2)	46	28-78
Number of cows	1.8 (0.7)	2	1-4	2.8 (0.9)	3	1-6
Numbers of calves	0.7 (0.5)	1	0-2	0.9 (0.4)	1	0-2
Number of years of experience in cattle rearing	3.4 (1.4)	3	2-9	6.2 (1.6)	5	3-12
Number of goats	3.7 (1.2) (n**=21)	3	1-7	4.3 (3) (n=12)	4	1-8
Number of pigs	1.1 (0.3) (n=27)	1	1-2	1.8 (1) (n=16)	1	1-3
Number of chickens	7.4 (4.3) (n=5)	6	4-15	5 (0.3) (n=6)	6	4-7

*n is the number of respondents; n** is the number of respondents owning other animals

Impact of FFS approach in adoption of new technologies

Livestock technologies discussed during the FFS training period focused mainly on feeding, health and reproduction management (Table 2). Overall, the percentages of respondents that use these technologies are higher among respondents of the FFS than non-FFS groups. The use of traditional lick-blocks (2.3 ± 1.1 equivalent-blocks of 5 kg per year), of inbreeding control methods (by exchange of bulls among administrative villages with the help of veterinary services), and of cemented soil in the barn were technologies that were not used prior to training and were adopted by most FFS respondents after it. Some technologies were not new to the farmers. For example, almost all interviewees planted grass-hedgerows (for forage production and erosion prevention), sprayed acaricides and dewormed their animals (two to three times per year), before and after the FFS training period. Some respondents of the FFS group intensified the use of known technologies: 87.5% increased the quantity of forage production after training by about 1.6 ± 1.2 times; they also increased the frequency of acaricide sprays from two or three times a month to once or twice a week. On the other hand, some technologies were less adopted by FFS respondents such as the installation of *Calliandra sp.*, the fertilisation of forage, the treatment of hay with molasses/urea and making concentrates. Even more, neither FFS or non-FFS interviewees made concentrates. Non-FFS respondents did not cemented soil of the barn.

Several respondents of the FFS group and few of the non-FFS had interest in improving manure composting made of solid dejections, urine, feed refusals and eventual litter collected and stored in a covered heap/pit. Almost of non-FFS respondents did not adopted such a technology. They applied litter directly in the barn and collected and stored manure in an open air heap/pit; 57.4% of

them had to purchase litter. Considering complementation with cereal brans, these were only used during the lactation period, with an average of 2 kg/day. This quantity was higher (2.6 kg/day) for respondents of the FFS than of the non-FFS groups (1.7 kg/day).

The respondents of the FFS group stated they will continue FFS activities after the end of project and some non-FFS respondents expressed their willingness to adhere to a FFS group. However, they mentioned that milk prices in collection centers were lower than that offered by informal traders. Further, farmers stated that centers often reduced the volumes that they buy in the rainy season when there is an increase in milk production.

Table 2. Technologies discussed within the farmer field schools (FFS) and the percentages of FFS and non-FFS respondents using them in their farms, before and after the FFS training period

Technologies during the FFS training	Percentages of respondents using the technologies			
	FFS respondents		Non-FFS respondents	
	Before	After	Before	After
Grass-hedgerows into crop fields	100	100	100	100
Installation of <i>Calliandra sp.</i> to be used as animal complement	0	48.5	0	17.6
Fertilisation of forage planted in a separate field	0	29.3	0	0
Complementation with cereal brans	50	100	78.7	100
Traditional lick-blocks	0	91.4	0	36.4
Hay treatment with molasses/urea	0	29.3	0	0
Concentrate making	0	0	0	0
Internal deworming	100	100	100	100
Acaricid spraying	65.5	100	100	100
Theileriosis diagnosis	37.9	100	46.8	100
Cemented floor in the barn	0	98.3	0	0
Sanitary milking control	0	45	0	15
Œstrus detection	100	100	100	100
Inbreeding control	0	100	0	100
Improved composting of manure	20.7	86.2	0	18.2
Improving banana productivity	0	62	0	17

Impact of FFS approach on dairy cattle productivity

Means of lactation lengths and of daily milk yields were significantly higher for cattle belonging to the FFS respondents (9 ± 3 months; 5.5 ± 2 l) than for those of the non-FFS respondents (7 ± 2 months; 3.2 ± 1.3 l). Means of calving intervals were significantly shorter for cattle belonging to the respondents of the FFS group (25 ± 10 months) than for those of the non-FFS group (31 ± 13 months). As an indication, overall means of milk yield were 7 ± 2.8 l/day, 4.5 ± 1.9 l/day and 2 ± 1 l/day in first trimester, second trimester and at the end of lactation. Milk collected in the morning (3 ± 1.5 l/day) was higher than milk collected in the evening (2 ± 1 l/day).

Results of financial analysis are summarized in Table 3. Annual incomes from milk sales were higher for the FFS group (median of 251 USD) in comparison with the non-FFS one (median of 234 USD), whereas those from calves' sales appeared as lower. More than half of non-FFS respondents (57%) had already sold a calf whereas only 27% of the FFS group had sold it. Total incomes appeared as more important for the non-FFS group. Contrary to FFS respondents; costs spent in purchasing litter was high for non-FFS respondents (57% of them purchased litter) as well as expenses for veterinary care. Total intermediate consumptions were more important for the non-FFS group compared to FFS one. On the other hand, the annual depreciation of the barn was higher for FFS than non-FFS group. Gross value added and gross operating profit were slightly higher for the FFS group than for the non-FFS one. Net operating profit appeared as similar between the two groups.

Results of economic analysis which valuing non-monetary costs and benefits are given in Table 4. Globally, means of total costs (AVC + AFC) and revenues (AGR) were similar for respondents of both groups. On the other hand, AGM and ANM medians were higher for respondents of the FFS (AGM median = 654 USD and ANM median = 570 USD) than for those of the non-FFS (AGM median = 542 USD and ANM median = 506 USD) group. Looking in more details in the costs, we observed that value of family labor was significantly higher for respondents of the FFS group (median of 246 USD) than for those of the non-FFS group (median of 222 USD). However, AVC means were significantly higher for respondents of the non-FFS (median = 460 USD) than for those of FFS (median = 438 USD) group. Inversely, the AFC were significantly lower for respondents of the non-FFS (median = 62 USD) than for those of FFS (median = 90 USD) group. For both groups, the most important costs were those related to labor (overall median = 222 USD) and animal feed (overall median = 168 USD), and slightly higher among FFS respondents.

In terms of contribution to revenues, estimate value of manure (around 40%) was the highest, followed by that of milk (38%), saving/assurance (16%) and social function in the community through the solidarity chain (6%). Estimate value of manure and social functions were higher, and that of saving/assurance function was significantly lower, for respondents of the FFS group compared to those of the non-FFS group.

Table 3: Mean, standard deviation and medians of financial indicators for farmers surveyed according to their membership in farmer-field-school (FFS)

Parameters	FFS members (n=58)		Non-FFS members (n=47)	
	Mean (standard deviation)	Median	Mean (standard deviation)	Median
Incomes:				
Milk sales	271 (126)	251	252 (105)	234
Milk home consumed	172(81)	154	148(68)	156
Calves' sales (annualized*)	78 (17) (n=16)	77	95 (25) (n=27)	83
Total incomes	458 (209)	428	446 (164)	439
Intermediate consumptions:				
Veterinary care	24 (12)	25	28 (13)	29
Fodder purchase	53 (38)	44	50 (29)	44
Cereal brans	69 (45) (n=53)	74	97 (69) (n=47)	82
Litter purchase	28 (14) (n=3)	27	37 (23) (n=27)	27
Lick blocks	10 (6) (n=54)	9	10 (7) (n=14)	8
Total intermediate consumptions	139 (57)	132	158 (77)	168
Profit:				
Gross value added	318 (213)	249	288 (184)	237
Paid labor	87 (27) (n=6)	77	92 (18) (n=8)	82
Gross operating profit	313(212)	249	277(183)	231
Annual barn depreciation	38 (10)	38	23 (15)	16
Net operating profit	276 (211)	219	254 (178)	218

Value are expressed in USD. Exchange rate in August 2019: One USD = 1827.2 BIF

n= number of respondents that sold animal or purchased inputs

*: the calf sales were divided by the number of year of the cow in the farmer

Table 4. Means, standard deviations and medians of economic indicators for farmers surveyed according to their membership in a farmer-field school (FFS)

Parameters	FFS members (n=58)		Non-FFS members (n=47)	
	Mean (standard deviation)	Median	Mean (standard deviation)	Median
Costs:				
Annual barn depreciation	38 (10)	38	23 (15)	16
Interest rate on initial investment (cow value at dairying beginning)	49 (11)	49	43 (12)	44
Total fixed costs	87 (15)	90	66 (24)	62
Labor value for planting and weeding fodder crops	53 (23)	49	51 (22)	41
Fodder purchase	53 (38) (n=51)	44	50 (30) (n=35)	44
Lick-blocks purchase	10 (6)	9	10 (7)	8
cereal brans purchase	69 (46)	74	97 (70)	82
Family labor value for cattle rearing	241 (72)	246	233 (97)	222
Litter purchase	28 (14) (n=3)	27	37 (23) (n=27)	27
Veterinary care expenses	24 (12)	25	28 (13)	29
Total variables costs	465 (87)	438	478 (203)	460
Total costs	553 (90)	525	544 (213)	525
Revenues:				
Total milk value	443 (211)	404	400 (175)	384
Manure value	474 (238)	396	418 (259)	387
Calves' sales (annualized)	78 (17) (n=16)	77	95 (25) (n=27)	83
Saving and assurance value (herd variation)	102 (74)	93	148 (97)	115
Social value of calves payback**	79 (42) (n=47)	82	49 (36) (n=12)	44
Gross revenue	1135 (370)	1056	1064 (355)	1028
Gross margin	670 (384)	654	586 (289)	542
Net Margin	583 (282)	570	520 (279)	506

Value are expressed in USD. Exchange rate in August 2019: One USD = 1827.2 BIF

*: number of respondents that purchased forage or litter; **: represent the social value in the community through the solidarity chain.

Discussion

Impact of FFS in adoption of improved technologies

A first observation was that the level of education, the farm size and animals owned were lower among respondents of the FFS than non-FFS group. Indeed, the majority of non-FFS members were not supported by the project and this is line with the objective of the government project which focused on poor households to improve their livelihoods. Another finding was that adoption rates of technologies were higher among respondents of the FFS than the non-FFS group. One reason is that respondents of the FFS group had better access to the various inputs necessary to adopt these technologies as suggested by Waddington *et al.* (2014). For example, FFS respondents were able to construct cemented floor in their barn because the project provided them with it. Inversely, non-FFS respondents would have to buy cement but its price was too high in comparison with milk productivity and prices for milk sold. This implies that the revenues from milk sold should be increased to allow the diffusion of the use of cemented floor and raises the question of its use among FFS members beyond the project period (Ponniah, 2007; Waddington *et al.*, 2014). Moreover, non-FFS respondents argue that cemented floor reduces the quantity of manure production. This is sensible since they put litter (when it is available) in the barn so feces and urines mixed with litter provide a high quantity of manure while FFS respondents do not put litter.

Traditional lick-blocks were used more often by FFS than non-FFS respondents. This may be because these blocs being manufactured by the FFS associations for selling, the price per bloc was lower to FFS than to non-FFS members. For example, the blocks of 2 kg and 5 kg were sold to 1.5USD and 3USD respectively to FFS members, while those prices doubled for non-members. However, we observed that some non-members purchased such blocs; the reason may be that they became more accessible when locally manufactured. Another reason may be the lower price of local blocs as compared to those imported, with 9 USD for a block of 5 kg. Thus, making and selling such blocks would allow continually generating revenues required to sustain this innovation. This indicates the advantage of social capital which facilitates the adoption of some complex practices (Kilelu *et al.*, 2013; Waddington *et al.*, 2014). Indeed, it is easy for a group of farmers to obtain the required materials for making traditional blocks than a single farmer. The rate of using cereal brans has increased for the two groups, which may be linked to the small input-shops implemented in milk collection centers. However, the quantity used was low and this may be due to low revenues from milk sold.

Although around half of FFS members used *Calliandra sp.* in animal feeding, it was found that there was a low utilisation of forage legumes to balance animal diet. This was also underlined by Shelton *et al.* (2005) that forage legumes remain an important but under-exploited resource for tropical farming systems. The main reason expressed by farmers was the lack of legumes seeds. Indeed, most

of the seeds introduced (*Desmodium sp.*, *Mucuna sp.*) were not easily available. Farmers stated that the demonstration plots that had to serve as multiplying seeds did not work as well as expected. For *calliandra sp.* nursery associations provided seedlings to all farmers at a low price. However, it was the project which supported the costs of seedlings for beneficiaries of dairy cattle, while non-beneficiaries have to buy the seedlings themselves. Hence some non-FFS members viewing the example of FFS members could also plant this legume. However, the rate of its utilisation in animal feeding still low because seedlings were often planted latter in an advanced rainy season so the dry season comes before the effective size needed to resist to drought.

Integration of grasses into crop fields was common for the two groups. Although FFS-farmers stated to increase forage production after training period, they still limited by their low farm size to produce enough forage for their dairy cattle, as also reported by Kilelu *et al.* (2013). Hence, they had to purchase forage from farmers without dairy cattle, especially in the dry season. This could be interpreted as a forage market opportunity for those farmers without cattle driven by the dairy farming as also reported in Kenya (Udo *et al.*, 2011).

We should also mention that some practices like hay treatment with molasses/urea, confection of composite concentrates and fertilization of fodder crops were not well adopted by both FFS and non-FFS members. Reasons stated by farmers were the low accessibility to required resources, their low financial capacities and insufficient training to make such complex technologies. Those statements were also highlighted by Waddington *et al.* (2014) as main factors impeding the effectiveness of the FFS approach. The non-application of manure to fodder crops may be linked to the higher importance accorded to food crops than to fodder crops in this mainly-agricultural based system (Jenicek and Grofova, 2015). Indeed, farmers expressed that the all quantities of manure produced is for food crops and that fodder crops are often planted on the less productive plots.

Notice also the constraint of the low milk price in centers of milk collection than that of informal private traders expressed by farmers in focus groups. All these constraints imply the need of a framework of dialogue among different stakeholders to discuss and work for this agricultural innovation (Kilelu *et al.*, 2013). For example, proximity services for the sale of inputs would be consolidated and milk market-price harmonized along all the value-chain to enhance farmer's revenues from milk sold.

Impact of the FFS approach in improvement dairy cattle productivity

Results of financial analysis showed that daily milk yield and annual incomes from milk sold per animal were higher for FFS than for non-FFS members, which may be ascribed to the new technologies adopted by FFS members. For example, it was reported that feeding *Callianda* has improved milk production and thus milk-derived incomes by 62 USD per year, when fed as a substitute or in addition to concentrates in Kenya (Wambugu *et al.*, 2011). Another explanation may be the competitiveness in available feed between many animals for non-FFS respondents with larger flocks and other animals than FFS respondents, which may reduce the quantity of feed fed per cow. These considerations are congruent to that of Mugambi *et al.* (2014), who underlined an inverse impact of head size on milk productivity per cow in Kenya highlands. Indeed, an increase in herd size would require a proportionate increase in available feed, which is not the case in smallholding system of Burundi. It may also reflect an inverse relationship of productivity and farm size in Burundi as reported by Verschelde *et al.* (2013). Inversely, the annual incomes from calves' sales appeared as more important for non-FFS members; the rate of respondents who have sold a calf was lower for the FFS group (27%) than for the non-FFS one (54%). This may be caused by the fewer years of experience in cattle rearing for FFS respondents than for non-FFS ones. Further, they have to pass the first calving to a next beneficiary, which prolongs the time to get a marketable calf. However, this constitutes an economic advantage which strengthens the social bond in the community.

Total intermediate consumptions were more important for non-FFS members because over the half of them have to purchase litter, which was not the case for FFS members. The litter is supposed to carry ticks, which may be true as we observed that the value of veterinary care was more important for non-FFS respondents than FFS ones. The majority of the latter had cemented barn, hence its annual depreciation was higher than that of non-FFS members without cement. Thus, gross operating profit seems to be higher for the FFS group than for the non-FFS one; whereas the net operating profits became similar between the two groups.

In overall, around 63% of milk produced is sold (often that milked in the morning), which appeared as lower when compared with that reported in Kenya of 70% (Bebe *et al.*, 2002). Farmers expressed that incomes from the milk sold contributed to purchase livestock inputs and other family needs as children education, while those from calves sold would be used to purchase cropland or to construct a family home. Moreover, most farmers linked to the milk collection centers could take credit in case of necessity which is reimbursed through a deduction on the monthly payment. Besides these financial advantages, farmers expressed clearly to increase the quantities of crop yields since they get the cattle. All these considerations make dairy farming to be a preferred way to address rural poverty as expressed by Muthui *et al.*, (2014) in Kenya, but the majority of Burundian smallholders with a small farm size still not able to buy and to manage a dairy cow.

Another observation is the higher estimate calving interval in our interviewed farmers (25-31 months) than that reported by Chapaux *et al.*, 2012: 18 months for some modern farmers of smallholding system of Burundi located near the Mahwa station in the southern of the country. In focus groups, some famers expressed the constraints of missed conceptions of artificial insemination and infertility of some bulls distributed. This may be highlighted by the report of one project (PAIVA-B, 2015). In this, it is mentioned that insufficiency of bulls and the absence of experimented proximity services of artificial insemination reduce reproductive performance of animals. Another expected constraint may be the constraint of some diseases like brucellosis, which was expected to be endemic although not regularly detected (Merker and Schlichting, 1984).

For further economic advantages, we would mention the advantage related to the owning livestock in the household as a saving function to accumulate assets for future planned investments and an assurance role in a context where banking is not developed or households are not integrated into credit markets. Results showed that this function was lower within FFS respondents than non-FFS ones, who owned the largest herd. This may translate the importance of large flocks in intangible benefits in providing social security for smallholders (Moll, 2005).

The estimate value of manure was higher within the FFS group compared to the non-FFS one, although the latter applied litter to enhance the quantity of manure. Indeed, the majority of FFS members have adopted improved composting technology whereas non-members used traditional composting without any form of protection. This traditional manure storing continues releasing ammonia, whereas improved compost protected from air preserves its nutrient value (Snijders *et al.*, 2009). Moreover, besides this improved composting, it was observed that some more competent FFS members were trained and supported in crop production like in improved banana seeds, to make them more economically viable. This also highlights the importance of adequate funding supports for FFS to be successful (Waddington *et al.*, 2014).

For further considerations, the relative importance of manure function was ranked firstly, and its contribution to the gross revenues was higher compared to that of other contributions. These results are in agreement with those of Davis *et al.* (2012) in Kenyan and Uganda, that the increase in livestock production due to FFS was smaller (14%) than the case of crop productivity (32%). These considerations indicate the great importance of manure in such agriculture-based smallholding system and thus the higher importance accorded to cattle rearing than to small species (Desiere *et al.*, 2015). All these economic advantages highlight that a financial analysis alone of livestock value in smallholder systems poorly address the real contribution of livestock (Moll, 2005). The non-market functions are often ignored since they are difficult to value, while they may contribute to a better understanding of existing livestock production systems and may drive the behavior of smallholders.

Although many constraints have been underlined to limit effectiveness of the FFS approach, results showed positive returns of such an approach. Thus, it could be considered as a way to empower smallholders' capacities and improving their livelihoods in Burundi, if long-term supports are provided. Therefore, farmers need to develop their own sources of funding. Extension efforts should focus more on long-term self-financing mechanisms (Ponniah, 2007), as the case of making and selling traditional blocs. However, although some technologies tend to be adopted by non-FFS members, it was observed that this approach fail to effectively diffuse technologies among non-members. This may be ascribed to that FFS-members being more supported by projects, it could be more consuming in other logistics or in time for the trained FFS farmers to train their neighbors. Therefore, a well internal mechanism is needed to facilitate dissemination of such technologies.

Conclusion

FFS approach seems allowing adoption of new technologies and improving dairy cattle productivity if complementary supports are provided. However, the dissemination of new technologies among non-FFS famers without supports remains low. The low financial capacities of farmers, the weak accessibility to required resources, the small farm size, the non-incentive milk price and the complexity of some practices as well as the milk marketing issues were the most limits that humped the adoption and dissemination of technologies through the FFS approach. This approach could be strengthened by a framework of dialogue where different stakeholders discuss and work for improving the availability of inputs and harmonization of market price along the milk value-chain.

Acknowledgements

Authors acknowledge ARES-Research and Higher Education Academy of Wallonie and Brussels for financial support. We thanks also Niyokwizera Dieudonné and farmers for their help in data collection.

References

- Balak C. and Mukul U. 2013. Socio-economic impacts of dairy cooperative. *Economic Journal of Development*, 15, 15–23.
- Bebe B.O., Udo H.M.J. and Thorpe W. 2002. Development of smallholder dairy systems in the Kenya highlands. *Outlook on Agriculture*, 31, 113–120.
- Braun A. and Duveskog D. 2011. The Farmer Field School Approach – History, Global Assessment and Success Stories. Background Paper for the IFAD Rural Poverty Report. 38 p.
- Butt T.M. Qijie G., Muhammad Z. and Yousuf H. 2015. An Analysis of the Effectiveness Farmer Field School (FFS) Approach in Sustainable Rural Livelihood (SRL): The Experience of Punjab-Pakistan, *Agricultural Sciences*, 6, 1164–1175.

- Chapaux P., Knapp E., Ngiyimbere S., Gacoreke S., Manyange H., Bertozzi C., Hornick J.L. 2012. Reproduction et production laitière de bovins sélectionnés ou de races locales au Burundi. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 19, 292.
- Datta A.K., Haider M.Z. and Ghosh S.K. 2019. Economic analysis of dairy farming in Bangladesh. *Tropical Animal Health and Production*, 51, 55–64.
- David S. 2007. Learning to Think for Ourselves: Knowledge Improvement and Social Benefits among Farmer Field School Participants in Cameroon. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, 14, 35–49.
- Desiere S., Niragira S. and D'Haese M. 2015. Cow or Goat? Population pressure and livestock keeping in Burundi. *Agrekon*, 54, 23–42.
- De Vries J. 2008. Goats for the poor: Some keys to successful promotion of goat production among the poor. *Small Ruminant Research*, 77, 221–224.
- FAO. 2018. Farmer field schools for small-scale livestock producers – A guide for decision makers on improving livelihoods. *FAO Animal Production and Health Guidelines No. 20*. Rome, FAO. 56 pp.
- Gizaw S., Abebe A., Bisrat A., Zewdie T. and Tegegne A. 2018. Defining smallholders' sheep breeding objectives using farmers trait preferences versus bio-economic modelling. *Livestock Science*, 214, 120–128.
- Groot M.J. and Van't Hooft K.E. 2016. The hidden effects on dairy farming on public and environmental saving health in the Netherlands, India, Ethiopia and Uganda, considering the use of antibiotics and other agro-chemicals. *Frontiers in public health*, 4, 1–9.
- Jenicek V. and S. Grofova. 2015. Least developed countries – the case of Burundi. *Agricultural Economics*, 61, 234–247.
- Kashish M.K., Sekhon M.K. and Dhawan V. 2016. Economic Analysis of Milk Production among Small holder Dairy Farmers in Punjab: A Case Study of Amritsar district. *Indian Journal of Economics and Development*, 12, 335.
- Khatam A., Muhammad S., Chaudhry K.M., Mann A.A., Haq I.U., Khan Z.U, Idrees M. and Amin H. 2010. Strengths and weaknesses of Farmers' Field Schools approach as perceived by farmers. *Sarhad Journal of Agriculture*, 26, 685–688.
- Kidoido M. and L. Korir. 2015. Do low-income households in Tanzania derive income and nutrition benefits from dairy innovation and dairy production? *Food Security*, 7, 681–692.
- Kilelu C.W., Klerkx L. and Leeuwis C. 2013. Unravelling the role of innovation platforms in supporting co- evolution of innovation: Contributions and tensions in a smallholder dairy development programme. *Agricultural Systems*, 118, 65–77.
- Manirakiza J., Hatungumukama G., Thévenon S., Gautier M., Besbes B., Flori L. and Detilleux J. 2017. Effect of genetic European taurine ancestry on milk yield of Ankole-Holstein crossbred dairy cattle in mixed smallholders system of Burundi highlands. *Animal Genetics*, 48, 544–550.
- Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE). 2014. Etats généraux de l'Agriculture et de l'Elevage du Burundi. République du Burundi, Bujumbura, 158 p. [en ligne] (sans date) <http://bi.chm-cbd.net/chm-burundais/pfinstitut/direction-des-eaux-de-la-peche-et-de-l-aquaculture/etats-generaux-de-l-agriculture-et-de-l-elevage-egae-edition-2014/download/fr/1/Rapport-etats-generaux-2014.pdf> . Consulté le 27/04/2019.

Moll H.J. 2005. Costs and benefits of livestock systems and the role of market and nonmarket relationships. *Agricultural Economics*, 32, 181–193.

Mugambi D.K. 2014. Estimation of milk production efficiency of dairy cow farms in Embu and Meru counties of Kenya. In *Scientific Conference Proceedings*. <http://journals.jkuat.ac.ke/index.php/jscp/article/view/1091> . Last accessed December 15, 2019.

Muthui J.N., Mshenga P.M. and Bebe B.O. 2014. The influence of livestock market structure conduct and performance on herd productivity among smallholder dairy farmers in Western Kenya. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 3, 12–16.

Merker M. and Schlichting H. 1984. Note sur la brucellose au Burundi. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 37, 138–144.

Mvena, Z.S.K., Mattee A.Z., Wambura R.M., Mwaseba D.L., Lazaro E.A., Kiranga E.D. and Kilave D.M. 2013. Farmer Field Schools as a Springboard for Enhanced Uptake of New Agricultural Technologies: Lessons for Tanzania. *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*, 12, 43–51.

Ponniah A., Davis K. and Workneh S. 2007. Farmer Field Schools : An Alternative to Existing Extension Systems ? Experience from Eastern and Southern Africa. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, 14, 81–93.

Projet d'appui à l'intensification et à la valorisation agricoles du Burundi (PAIVA-B. 2015. Rapport des réalisations de 2014. Bujumbura, 156 p. <http://www.programmefidaburundi.org/wp-content/uploads/2017/05/Rapport-annuel-2014.pdf>. Last accessed December 15, 2019.

Snijders P., Davies O., Bram W., Gachimbi L., Ebanyat P., Kebebe E., Muktar A. and van Keulen H. 2009. Cattle manure management in East Africa: Review of manure quality and nutrient losses and scenarios for cattle and manure management. Wageningen UR Livestock Research, Report 258, 25p.

Tokarev Y.A., Merkusheva N.I., Bakanacha O.V., Proskurina N.V. and Sazhina N.S. 2016. Dairy cattle breeding effectiveness analysis under the conditions of import substitution. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11, 7576–7585.

Udo J. Aklilu H.A., Phong L.T., Bosma R.H., Budisatria G.S., Patil B.R., Samdup T. and Bebe B.O. 2011. Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. *Livestock Science*, 139, 22–29.

Vershelde M., D'Haese M., Rayp G. and Vandamme E. 2013. Challenging small-scale farming: A non-parametric analysis of the (inverse) relationship between farm productivity and farm size in Burundi. *Agricultural Economics*, 64, 319–342.

Wambugu C., Place F., Franzel S. 2011. Research, development and scaling up the adoption of fodder shrub innovations in East Africa. *International Journal for Agriculture Sustainability*, 9, 100–109.

Waddington H., Snilstveit B., Hombrados J., Vojtkova M., Phillips D., Davies P. and White H. 2014. Farmer field schools for improving farming practices and farmer outcomes. A Systematic Review. *Campbell Systematic Reviews*, 6.

IIC. Evaluation socio-économique de la pertinence des champ-école-paysans pour l'amélioration génétique de la chèvre dans les systèmes de petites exploitations

Résumé

Les programmes de sélection basés sur les communautés locales ont attiré de plus en plus de l'attention des pays tropicaux pour l'amélioration génétique des petits ruminants. Cependant, la durabilité de cette approche communautaire reste remise en question par la complexité de la participation des petits exploitants. Afin d'évaluer la pertinence d'un projet d'amélioration génétique des chèvres basé sur les organisations des producteurs au Burundi, cette étude vise à évaluer les conditions socioéconomiques de l'élevage caprin à travers une approche participative tenant compte de la multifonctionnalité de la chèvre. La marge brute par animal a été également quantifiée pour servir d'indicateur à la viabilité économique. A cette fin, 160 ménages ont été enquêtés dont 77 ont été suivis longitudinalement durant une année. La typologie des agri-éleveurs enquêtés selon les facteurs liés à la dynamique de l'élevage caprin a identifié trois groupes d'agri-éleveurs. Le premier groupe était composé des agri-éleveurs les plus pauvres (4 chèvres et 0,6 ha de superficie agricole), priorisant l'élevage caprin dans leur avenir. La vente excessive de chèvres liée à leur pauvreté limite leur participation aux champs-école-paysans pour l'amélioration génétique de la chèvre. Le deuxième groupe était constitué par des agri-éleveurs ayant une superficie agricole relativement plus élevée (1,2 ha), qui envisageaient vendre une partie de leurs chèvres pour acheter une vache. Le troisième groupe était composé des agriculteurs membres des organisations et disposant les plus grands troupeaux de chèvres (13 chèvres). Ce groupe a manifesté la volonté de mettre une grande importance sur la chèvre pour leur avenir, mais a montré de faibles capacités à gérer de grands troupeaux. La marge brute par chèvre (13 USD) était plus élevée dans le troisième groupe comparativement aux autres groupes (1 et 7 USD respectivement pour le groupe 1 et 2). L'importance relative des fonctions de chèvre telles que définies par des outils participatifs ne correspondait pas à la part relative de ces fonctions dans la composition du revenu brut. Les outils participatifs et les calculs économiques apparaissent alors comme complémentaires pour comprendre les priorités des agri-éleveurs. Consolider des associations intégrées et encourager les agriculteurs à diversifier leurs sources de revenus sont les deux voies proposées pour créer un environnement favorable à l'élevage des chèvres et au bien-être des agriculteurs.

Mots-clés: Sélection caprine, multifonctionnalité de la chèvre, marge brute, approche participative et système à peu d'intrants.

Socio-economic evaluation of the relevance of farmer field school project for goat genetic improvement in smallholding systems

Under revision in Animal

Manirakiza J.^{1,2}, Moula N.², Detilleux J.², Hatungumukama G.¹, Antoine-Moussiaux N.²

1 Department of Animal Health and Productions, Faculty of Agronomy and Bioengineering, University of Burundi, B.P. 2940, Bujumbura, Burundi. 2 Fundamental and Applied Research for Animals and Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liège - 6 avenue de Cureghem, 4000 Liège, Belgium.

Corresponding author: Manirakiza J., Department of Animals Health and Productions, Faculty of Agronomy and Bioengineering, University of Burundi, B.P. 2940, Bujumbura, Burundi.

Email: josmanirakiza@gmail.com / Tél: +257 79 478 150

Abstract

Community-based animal breeding programs have gained more attention in the tropics for genetic improvement of small ruminants. Nevertheless, implementing this community-based approach remains challenged by the complex question of smallholders' participation. To evaluate the relevance of a goat genetic improvement project based on farmer organizations in Burundi, this study aims to assess socio-economic characteristics of goat farming through a participatory approach taking into account the multifunctionality of goat. Gross margin per flock and animal was also quantified as indicators of economic viability. To that end, 160 smallholders were surveyed of whom 77 were monitored for one year. Cluster analysis of factors linked to the dynamic of goat farming identified three groups of farmers. The first group was composed of the farmers with the smallest goat flocks (4 goat heads) who were goat-oriented for the future. Due to the excessive selling rate, this category was impeded to participate in goat genetic project. The second group involved farmers with the highest arable land (1.2 ha) who planned to buy cattle to substitute part of their goats. The third group included farmers who were members of organizations with the largest goat flocks (13 heads). This group emphasized the importance of goat for their future but showed weak abilities to manage large flocks. The gross margin per animal (13USD) was higher in the third group compared to other groups (1 and 7 USD for the first and second group respectively). The relative importance of goat functions as defined through participatory tools did not correspond to the relative share of these functions in the composition of the gross revenue of goat. Participatory tools and economic calculation then appear as complementary to understand farmers' priorities. Consolidating breeders' associations and supporting farmers to diversify their sources of income are two ways proposed here to create a favorable environment to goat husbandry and farmers' well-being.

Keywords: goat breeding, goat multi-functionality, gross margin, participatory approaches and low-input systems.

Implications

This study proposes a combined socio-economic approach to evaluate the relevance of community-based animal genetic improvement programs in smallholding systems. It illustrates the complementary contribution of participatory tools and formal economic analysis to understand the system. The approach reveals that it is less suitable and difficult to sustainably implementing an advanced selection, while smallholders prefer to limit goat flock sizes and to diversify species in their livelihood strategies. It highlights the importance of large flocks in economic efficiency per animal, although farmers had weak abilities to manage large flocks.

Introduction

Community-based animal breeding programs have gained more attention as a promising approach in the tropics for genetic improvement of small ruminants (Yaekob *et al.*, 2017; Mueller *et al.*, 2015; Wurzinger *et al.*, 2011). The reason is that small ruminants have been neglected in state-led breeding programs in comparison to cattle and poultry (Mueller *et al.*, 2015). Nevertheless, implementing this community-based approach remains a challenge, relating to the complex question of breeders' participation (Camara *et al.*, 2019a; Camara *et al.*, 2019b). Many authors have reported that the sustainability of breeding programs for local breeds of small ruminants in low-input production systems depends on farmers' interest and involvement, which has to be understood as resulting from the socioeconomic context of production (Biscarini *et al.*, 2015; Ogola *et al.*, 2010).

The concept of sustainability in agricultural production requires to be economically viable, socially just and ecologically sound, at the farm level but also at the level of the overall system (Hendrik *et al.*, 2010). Regarding the economic component, estimation of the value produced (profit, gross margin or value added) per unit of the most limiting resource was used by many authors as an indicator of viability (Ayalew *et al.*, 2003; Moll, 2005; Mwebe *et al.*, 2011). Nevertheless, this approach is not easily understandable for smallholders who are mostly illiterate or have a weak educational background. Being a strain on the participation of poorest breeders to the evaluation process, this barrier poses important questions of social justice, the second pillar of sustainability. Therefore, several participatory tools were developed to fit the farmers' interest and promote communication despite uneven levels of education. However, these tools provide little economic interpretation of priorities of smallholders (Gizaw *et al.*, 2018). In the context of animal breeding, the use of participatory tools was mostly focused on the direct definition of breeding objectives (Siddo *et al.*, 2015; Tindano *et al.*, 2017; Woldu *et al.*, 2016a), but most often not paying sufficient attention to dynamic strategies of households and the role of livestock species in these (Camara *et al.*, 2019a). Therefore, to better address the evaluation of genetic improvement in developing countries, considering the context and own dynamic of low-input systems, it appears important to integrate participatory and formal economic analysis tools.

In this study, such a combined socio-economic approach is proposed to evaluate the adequacy of a goat-breeding project initiated in the smallholding system of Burundi. Based on a community-based approach, the project was initiated in 2015 through the creation of pilot farmer associations, which had to work as “farmers field school” (FFS) approach. Those FFS aimed at improving goat husbandry practices and enabling a genetic selection of local breed. However, although goat is among the most important livestock species in the country, it raises little interest as compared to dairy cattle, among policymakers but also among farmers (Desiere *et al.*, 2015). A possible reason may be the lower response of goat to intensification compared to dairy cattle, as proposed by Udo *et al.*, (2011). In fact, goats in Burundi, as in many developing countries, are mostly raised by low-income rural households for their financial security and are part of a composite agriculture-based livelihood strategy. They are commonly raised to sell in case of necessity and to produce manure for crop fertilization. Lack of understanding of factors of profitability and of the contribution of goat farming to livelihoods of smallholders could then be other reasons for the lack of interest for the species. Indeed, no study has been conducted yet in Burundi to evaluate the viability and income contribution of goat farming to the livelihood of households. Our hypothesis is that the lack of stability and symbolic importance of goat in low input systems of Burundi are major limiting factors in breeding program implementation. This participatory socioeconomic evaluation then aims more particularly at identifying internal diversity among breeders and understanding how animal breeding may fit into the livelihood strategies at play.

Material and methods

Methodological approach

The overall methodology rests on a participatory assessment of farmers’ knowledge about the dynamic of goat keeping and their perception of its economic contribution to the households’ livelihood, including their strategy for the future. For that purpose, farmers were subject to semi-structured interviews and ranked their priorities by proportional piling with 100 counts. Then, we quantified the gross margin per flock and animal as an indicator of the economic viability based on a set of stated and measured parameters. This was estimated taking account of the multi-functionality of goat keeping (as disaggregated and ranked by smallholders) as well as market prices for marketable products and opportunity costs for non-marketable products and services (Moll, 2005; Ayalew *et al.*, 2003). Thereby, to assess the reliability of farmers’ proportional piling results about the relative importance of goat functions, we compared those with the relative share of these functions in the composition of the gross revenue.

Study area

The study was conducted in the goat-breeding projects’ area, i.e. the Gitega province (1350 à 2000 m above sea level) located in central highlands (CHL), and in Rutana province (1100 à 1400 m

above sea level) located in depressions of Northeast (DNE). An average annual rainfall between 1200 and 1500 mm, an average annual temperature between 17 and 25°C and a dry season of 3 to 4 months characterize the CHL climate (Bidou *et al.*, 1991). The DNE climate presents an average annual rainfall between 900 and 1200 mm, an average annual temperature between 22 and 28°C and a dry season of 5 to 6 months (Bidou *et al.*, 1991). In terms of demography, CHL has the highest population pressure (more than 300 inhabitants/ km²) while EDP is relatively less populated (around 200 inhabitants/km²) (Ministère de l' Intérieur 2010). Agriculture is the main subsistence activity of households. An association of several crops characterizes the cropping system, with a predominance of maize from September to January and beans from February to May. Banana is the main cash crop in CHL, while rice holds this role in DNE.

Setting up the associations

In 2015, two communes were identified in each province and 30 members in each commune were identified to form an FFS, which gives four FFS. Farmers were trained in integration forage crops in their crop fields, animal health, improving goat barn and reproduction management. Veterinary technicians had to follow up farmers' activities, assisted by trained community animal health workers. After one year of training and preparation (February 2016), each farmer received five indigenous goats and two neighbor farmers have to share one buck. Exchange experience visits were regularly organized within FFS members. Then a protocol for recording growth performances and pedigree of kids was initiated. This was entrusted to the trained community animal health workers, in collaboration with communal veterinary technicians. Researchers had to follow up all activities and to gather data recorded in a central data set.

Sampling

We sampled 160 goats-keeping households in the 2 provinces with 90 households in Gitega and 70 in Rutana, from July to November 2017. Among them, 85 households (40 in Gitega and 45 in Rutana) were members of FFS. Purposive sampling was conducted to include both members known to meet success in their activities (n=48) and those lagging behind (n=37), according to the evolution of the flock size and the observed dynamism in meetings' participation. Non-members of FFS were selected by respondent-driven sampling (n=75), starting from three first respondents who were identified by a community animal health worker from each region.

Data collection

First, seven focus groups were conducted, of which four within the FFS, in order to familiarize breeders with the topic of research and to collect the first provisional data used in the second step of in-depth individual interviews. To that end, we used a checklist of investigation themes to animate the semi-structured interviews. Those themes were mainly: (1) characteristics of the households, (2)

economic activities practiced and their contribution in households' livelihood, (3) multiple functions of goat keeping, (4) main constraints impairing goat productivity, (5) strategy for the households' future and the role of the goat in this strategy and (6) history of herd size (goat, cattle) distinguishing three periods: 5 years before the survey, at the survey period and the projection for the future. Relevant items cited in focus groups were then proposed for ranking in individual interviews, through proportional piling with 100 counts. Categories ranked were the relative contribution of economic activities in livelihoods, the relative perceived importance of goat and cattle farming in their envisioned future, the relative importance of the goat functions and relative importance of constraints in goat breeding. Respondents were also asked to give motives for the chosen ranking.

Among 160 farmers, 77 collaborating farms (of whom 31 members of FFS) were identified and monitored, from the July 2017 to July 2018, to evaluate the gross margin from goat farming. Goat flocks were identified and weighed at the beginning and the end of the period. Goat weight was converted in monetary units using market prices, collected through a trader with experience in selling goats in collaboration with the farmer. An agent was recruited on each site and trained to regularly record animal outflow (sales, mortalities or gifts transferred out), inflow (births, purchases or gifts received), and costs (mainly veterinary care and fodder).

Data analysis

All analyses were performed with the statistical software R (version 3.5.1). Categorical variables were described by percentages, and numerical variables through their mean, standard deviation, medians, and extreme values. Proportional piling results were expressed as percentages ascribed to each of the categories to be ranked.

Typological analysis

We performed multivariate analyses (principal component and hierarchical classification analyses - FactoMineR package) to explore relationships between 10 numerical variables influencing the evolution of goat farming (Lê *et al.*, 2008; Husson *et al.*, 2010). Four qualitative illustrative variables were also added to evaluate their distribution among the defined typology (Table1). Illustrative variables do not contribute to the calculation of the principal components and clustering but are projected a posteriori on the calculated axes to help interpreting the defined typological groups. The variables used were selected within the sample after computing a matrix correlation test. Only those with a significant correlation coefficient and with a theoretically supposed relation with the evolution of goat farming were kept. Chi-square or Fisher's exact test was applied to assess the significance of differences in the distribution of the qualitative illustrative variables among typological groups. A student t-test was used to determine the dependence between the typological groups and the

different functions of goat farming, the flock size of goat and cattle in the past and the desired sizes for the future.

Table1. Variables used in the cluster analysis of the dynamic of goat farming

Quantitative variables	Used codes
1, Indicators of household wealth:	
- Arable land [†] (ha)	Land
- Number of goat owned at the survey period	Ngoat
- Relative importance of off-farm activities in household's livelihood (%) ^{††}	offarm
2, Main constraints on goat breeding:	
- Relative importance of the challenge to manage a large flock size (%) ^{††}	Hflock
- Relative importance of the challenge of early and excessive sales (%) ^{††}	Exsale
3, Level of consideration or disinterest for goats:	
- Relative importance of cattle farming for the future (%) ^{††}	ImpCattle
- Relative importance of goat farming for the future (%) ^{††}	ImpGoat
4, On-going dynamic of goats' herd;	
- Relative variation of goat flock size at the survey period compared to the size of the past: Formula : $(\text{Ngoat_survey} - \text{Ngoat_past})/\text{Ngoat_past}$	RelVar1
- Relative variation of goat flock size wished for the future relative to goat flock size owned at survey period : Formula : $(\text{Ngoat_wished} - \text{Ngoat_survey})/\text{Ngoat_survey}$	RelVar2
5, Level of education of the household head	Educ
Qualitative variables	
1, Economic impact of goat farming in the past with:	Impact
- High impacts: sales which have contributed to high investments such as purchase of arable land or cattle, or building a house (VisImp);	
- Small impacts: sales which have contributed mainly to regular cash needs such as school fees, healthcare, chemical fertilizer or food: (small)	
2, First source of household income in case of difficulties with :	SoucInc
goat (goat) ; off-farm activities (Nagr) ; harvest crops (crops) ; banana (Ban) ; renting workforce (rentforc)	
3, Types of smallholders with :	Typhousehold
- Non-FFS farmers (noffs)	
- Successful FFS members (ffs_succ)	
- FFS members lagging behind (ffs_lag)	
4, Region : central Highland (CHL) and Eastern depressions (EDP):	Region

^{††}The percentages of relative importance were obtained through proportional piling by the farmers using 100 counters

[†]estimated with a Global Positioning System, Garmin

Economic performance analysis

We calculated the annual gross margin (AGM = annual gross revenues minus annual variables costs) per goat flock and per animal. Revenue was composed of the variation of flock value, the value of manure, credit and insurance services. The variation of flock value included monetary and non-monetary flows. Monetary flows included sales (gain) and purchases (costs). Gifts transferred out of households were counted as a gain, while gifts received were counted as a cost, to take account of sociological realities underpinning this practice. In the absence of market valuation of manure, its economic value was indirectly assessed through the yield response due to application of goat manure on bean fields, which is the main crop that benefits from goat manure and yields easily quantifiable by farmers. Indeed, the harvested beans are kept in a bag of 50 or 100 kg depending on the quantity obtained and farmers expressed the number of bags harvested. In the absence of manure, farmers commonly used mineral fertilizer alone (Table 2). We used the Kruskal-Wallis test to determine whether medians for the AGM per farm and per animal are the same in typological groups, according to FFS membership and between regions. This non-parametric test was chosen because residuals of a fixed effect model were not normally distributed with a null mean and a variance σ^2 (with a visual shape of the histogram and Shapiro-Wilk test). A p-value below 0.05 was considered significant.

Finally, we estimated the divergence between the relative importance of diverse functions of goat farming as stated through proportional piling and as calculated through gross revenue decomposition. This divergence was expressed as the difference between estimated percentages for each function in each household. We then used a Spearman's rank correlation test to assess the significance of this divergence. The functions considered were manure, sale, saving (including a credit function and an insurance function), and social functions. The latter function was calculated based on the relative importance of gifts transferred out in the overall gross revenue because those received were considered as a cost.

Table2. Estimation of the annual gross margin of goat farming in smallholding system of Burundi

Production factors	Estimation
Variables costs:	
a. Veterinary care	Regularly registered
b. Feed costs	Consisted of eventual purchases of crop-forage
c. Hired labor costs	Estimated in the equivalent value of man-day of the relative importance of the daily time allocated to goat farming (expressed by proportional piling)
Gross revenue:	
d. Value of flock at beginning	Weight * estimated market price
e. Value of inflow:	
f. Value of outflow:	Value of goats transferred as gifts + value of births + sales
g. Value of initial flock at the end:	Purchases + value of deaths + value of goats received as gifts
h. Variation of flocks:	Weight * estimated market price
i. Value of manure:	$(g - d)^{\dagger} + e - f$ Estimated based on opportunity cost of the difference in the monetary value of the bean yield that farmers would have obtained with a simultaneous application of the organic and inorganic manure and that of the yield they would have obtained with an application of the inorganic fertilizer alone ††
j. Credit interest:	Estimated on the value of goat sold. An interest rate of 10% applied in the Cooperative of Savings and Credit present in all municipalities of the country was used
k. Insurance:	Estimated on the value of stock of live goats. A rate of 3% was used, corresponding to the saving rate in Cooperative of Savings and Credit
l. Total Gross margin	$(h + i + j + k) - (a+b+c)$
m. Gross margin per adult animal	l/number of adult-equivalent of the flock at the beginning

† due to the loss or gain of weight of live animals

†† These yields were estimated according to the declarations of smallholders. Indeed, the bean is the main crop benefiting from organic and inorganic manure in rural smallholdings and whose yields are easily quantifiable by smallholders.

Results

Characteristics of surveyed farmers and their livestock species

All the farmers surveyed subsisted on an average cultivated land of 0.9ha. The average age was 43 years old. The level of education was low, with an average of four years of schooling. The average number of goats was eight heads. Among the 160 respondents, 44 had also cows, 49 had pigs and 98 had chickens (Table 3). From proportional piling results, livestock system contributed around 27% to the livelihood of respondents, of which around two thirds (i.e. 17%) was ascribed to goat farming, whereas crop production accounted for 62% and off-farm activities for 11%. In the future, farmers expressed their willingness to emphasize goat and cattle compared to other species, to provide cash for emergencies or daily needs and to produce manure for crop production, respectively. Proportional piling established an expressed relative preference for goats (61%), while cows gathered 39% of counts. The perceived relative importance of a cow in manure production was significantly higher (62%) than that of goat herds (38%). Conversely, the perceived relative importance of goat herds in cash generation was significantly higher (56%) than that of a cow (44%).

Table3. Means and standard deviations (sd), medians and ranges (minimum-maximum) for the characteristics of farmers surveyed

Characteristics	Respondents' percentage	Mean(sd)	Median	Range
Farm size (ha)		0,9(0,4)	0,8	0,3-2,5
Year of formal education		4(3)	5	0-14
Age of the head of the household (years)		43(11)	43	22-71
Year of keeping goats		17(9)	17	2-39
Household head sex:				
Man	89			
Women	11			
Female respondents	60			
Number of children		5	5	0-10
Maximum number of goats reared in the past		7(4)	6	2-20
Number of goats owned at the survey period		8(5)	7	1-22
Maximum number of goats foreseen for the future		10(6)	10	4-30
Number of cows	28	2(1)	1	1-6
Number of pigs	31	1(1)	1	1-4
Number of chicken	61	7(5)	5	1-25

Farmers' diversity according to the dynamic of goat keeping

From the principal component analysis, three axes were retained, representing 67% of the total variation (Figures 1 and 2).

Axis 1 (31.8% of the total variance) discriminated between wealthier households that emphasized cattle farming in the future (positive values) from the poorest that preferred goat farming in the future (negative values) (Figure1). The variables with the highest positive correlations were the number of goats owned at the survey period (0.7), the relative importance of cattle in the future (0.62), the level of education (0.55), the managerial challenge due to goat flock size (0.56) and the farm size (0.47). Those with the highest negative correlations were the relative variation of goat flock foreseen for the future (-0.67), the perceived relative importance of goat for the future (-0.62) and the challenge due to early and excessive sales of goats (-0.61).

Axis 2 (21.1% of the total variance) opposed smallholders with a positive evolution of goat flock in the past and who preferred goat farming in the future to those with a negative evolution of goat flock foreseen in the future and who preferred cattle farming in the future (Figure1). The variables with the highest positive correlations were the relative variation of goat flock in the past (0.69) and the relative importance of goat for the future (0.61). Those with the highest negative correlation were the relative importance of cattle in the future (-0.61), the farm size (-0.37) and relative variation of goat flock foreseen for the future (-0.31).

Axis 3 (13.7% of the total variance) opposed smallholders who preferred cattle in the future but with goat farming being limited by early and excessive sales of goats to those who preferred goat in the future but faced managerial difficulties due to flock size (Figure 2). Indeed, the highest positive correlations were found for the challenge of early and excessive sales of goats (0.59) and for the relative importance of cattle in the future (0.44). The highest negative correlations were for the managerial challenge due to goat flock size (-0.54) and for the relative importance of goat in the future (-0.44).

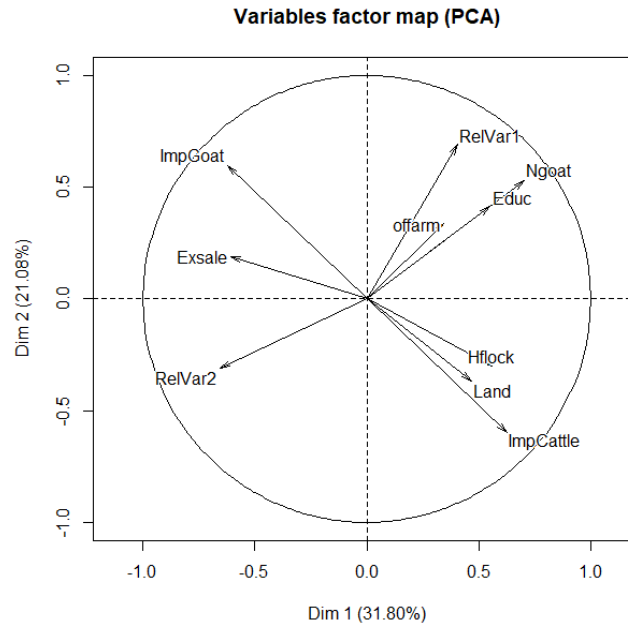


Figure1. Circle of correlation between factors influencing the dynamic of goat farming axes1 and 2

Educ=level of education; Exsale=relative importance of constraint of excessive sales; Hflock=relative importance of managerial constraint of a high flock; ImpCattle=relative importance of cattle farming in the future; ImpGoat=relative importance of goat farming in the future; Land=arable land size; Ngoat=number of goats at the survey' period; offarm=Relative importance of off-farm activities in the household incomes; VarRel1=Relative variation of the goat's flock size in the past; VarRel2=relative variation of goat's flock size foreseen for the future.

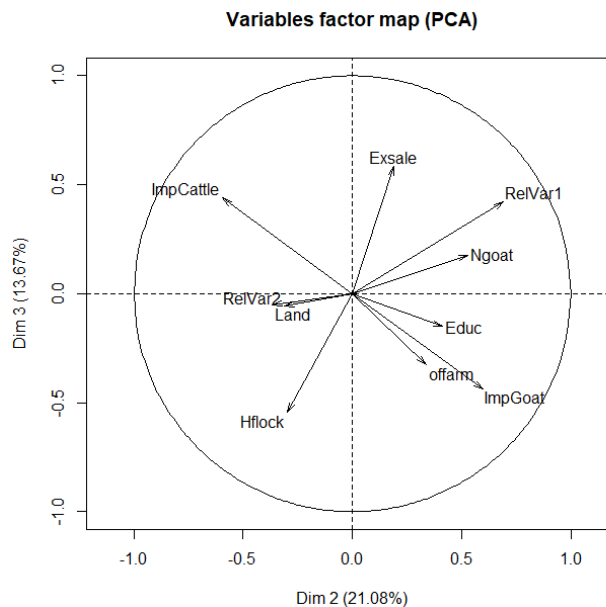


Figure 2. Circle of correlation between factors influencing the dynamic of goat farming: axes 2 and 3
(See code signification in figure 1)

The hierarchical classification led us to define three groups of farmers (Figure 3). The variance within groups was 58.5% and that between groups was 41.5%. This means that those groups were not well separated and that each group contained a sizable variability, to be considered in their interpretation. All variables significantly contributed to the construction of all clusters (Table 4).

Cluster 1 (n=54; 33.8% of the sample): non-FFS, goat-oriented farmers.

Farmers from cluster 1 had significantly fewer goats at the survey period as compared to other clusters. The main challenge to goat farming was an excessive sale of goats. In case of necessity, the main sources of incomes were sales of goats or renting workforce. Thus, the relative variation of goat flock in the past was negative. In the future, they emphasized goat farming rather than cattle. Hence, the relative variation of goat flock in the future was higher than in other clusters. However, the number of goats desired in the future was significantly fewer (7 heads) than in the other clusters (10 heads for cluster 2 and 12 heads for cluster 3). Level of education was lower than in other clusters. In the past, incomes from goats sold have contributed mainly to emergencies and regular needs such as health care, school fees, chemical fertilizer or even food, for 73% of farmers. The wide majority of this cluster (81%) was not participate in FFS.

Cluster 2 (n=65; 40.6%): non-FFS, cattle-oriented farmers.

As for cluster 2 farmers, the average arable land was significantly higher compared to other clusters and the relative importance of cattle farming for the future was higher than that of goats. The main challenge was to manage large flocks rather than to excessively sell goats. Crop harvests were the main source of incomes in case of necessity. In the past, the number of goats (10) was significantly higher than that of other clusters (five for cluster 1 and six for cluster 3) and incomes from goat sales have contributed to important investments for more than 70% of farmers. The desired number of cattle in the future (two heads) was significantly higher than in cluster 1 (one heads) and similar to cluster 3 (two).

Cluster 3 (n=47; 29.4 %) FFS, goat oriented farmers.

In cluster 3, the number of goats at the survey period was significantly higher than in other clusters. The relative importance of off-farm activities in household incomes was significantly higher compared to other clusters. In case of necessity, off-farm activities constituted the main source of incomes for 54% of them. The relative variation of the goat flock in the past was higher but was envisioned as becoming negative in the future. Still, the relative importance of goat in the future was higher than that of cattle. There was no significant difference in the farm size between this cluster and cluster 1, although it seemed slightly higher for group 3 than group 1. Their level of education was significantly higher. More than 70% of them are FFS members that were a priori considered as successful.

The sale and manure functions in cluster 1 were significantly more important than in the other clusters. Cluster 3 was characterized by higher importance of the saving function. Cluster 2 did not show any significantly specific function.

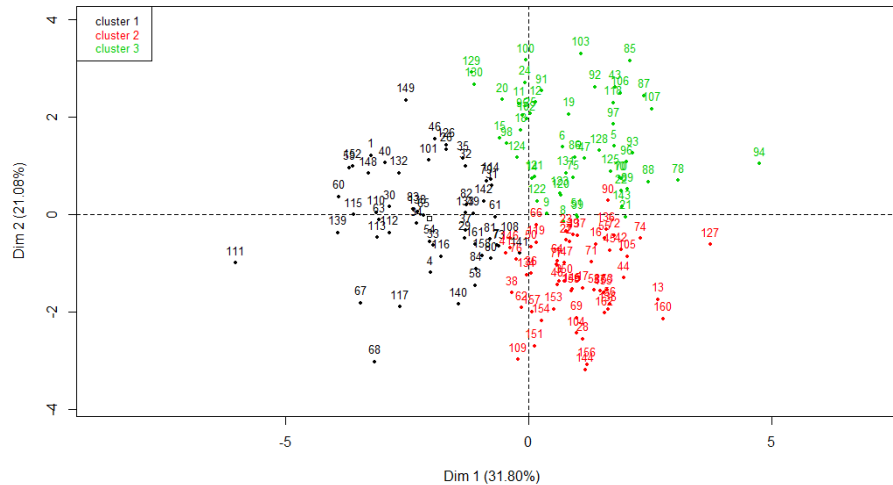


Figure 3. Distribution of the clusters according to the first two principal components

Table 4. Characteristics of three groups defined by hierarchical classification

	Mean (standard deviation)			
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Total
Quantitative variables:				
Arable land (ha)	0.6(0.3)	1.2(0.4)	0.8(0.4)	0.9(0.4)
Number of goat owned at the survey period	4(2)	8(3)	13(4)	8(5)
Relative importance of off-farm activities in livelihood (%)	6(9)	7(10)	18(15)	11(14)
Relative variation of goat flock size in the future (%)	1.7(0.7)	0.4(0.7)	-0.1(0.4)	0.7(1.3)
Relative variation of goat flock size in the past (%)	-0.3(0.5)	-0.1(0.4)	1.3(0.8)	0.2(0.9)
Relative importance of goat farming in the future (%)	80(22)	43(15)	60(21)	61(25)
Relative importance of cattle farming in the future (%)	20(12.0)	57(15)	40(21)	39(25)
Relative importance of managerial constraints of large goat flock (%)	35(19)	45(19.4)	68(14)	51(22)
Relative importance of the constraints excessive sales of goats (%)	65(19)	55(19)	32(14)	49(22)
Education (years)	3(2)	4(2)	6(2)	4(3)
Illustrative variables: % according to individuals of group				
First source of income in case of difficulties:				
Banana	4	27	16	15
Other Crops	5	31	7	15
Goat	44	20	19	31
Off-farm activities	15	20	54	31
Renting workforce	32	2	4	8
Economic impact of goat farming in the past:				
High impact [†]	27	73	49	52
Small impact ^{††}	73	27	51	48
Sampling groups:				
Member of FFS with success	4	15	72	30
Member of FFS lagging behind	15	36	26	26
No member of FFS	81	49	2	44
Region:				
Eastern depressions	41	42	50	43
central highlands	59	58	50	57

[†]: investment such as purchase of arable land, cattle or building a house; ^{††}: regular cash needs such as school fees, healthcare, chemical fertilizer or foods

Viability of goat farming according to farmers' diversity

Total costs per flock (veterinary expenses, fodder purchase and labor costs) were significantly higher in cluster 3 compared to others. On the contrary, total costs per animal were lower in cluster 3 than in others. Total costs per flock were significantly higher in DNE than in CHL, whereas that per animal was higher in CHL than in DNE. In terms of return, manure, insurance and flock variation values as well as the total gross revenue and gross margin per flock were significantly higher in cluster 3 than in the two other clusters and higher in DNE than in CHL. The average gross margin per animal was around 7 USD. It was significantly higher in cluster 3 than in others. It was also significantly higher in DNE than in CHL (Table 5).

The relative contribution of manure and saving functions to the gross revenue of goats were significantly higher in cluster 3 than in other clusters. On the other hand, the relative contribution of goat sale was significantly higher in cluster 1 than in cluster 3. The social contribution to the gross revenue was almost null (Table 6).

Table 5. Mean (standard deviation) of costs and revenues according to clusters and region

Parameters	Overall	clusters			Regions	
		Cluster1 (n=25)	Cluster2 (n=29)	Cluster (n=23)	EDP (n=24)	CHL (n=53)
Variables costs:						
Veterinary care	5 (4)	2 (1)	4 (3)	8 (4)	8 (4)	3 (2)
Fodder Purchase	19 (9) (n=34)	17 (8) (n=6)	13 (7) (n=10)	26 (8) (n=18)	21 (8) (n=14)	17 (9) (n=20)
Hired labor	49 (7)	46 (5)	51 (10)	51 (5)	53 (10)	48 (6)
Total costs	62 (16)	52 (10)	59 (12)	77 (17)	73 (16)	57 (14)
Total costs per animal	14 (6)	18 (7)	13 (6)	10 (2)	10 (3)	15 (7)
Inflows:						
Stock variation [†]	15 (62)	-11 (43)	-1(45)	63 (42)	60 (52)	-5 (45)
Value of goats sold	46 (28) (n=69)	45 (25) (n=21)	51 (29) (n=29)	41 (27) (n=19)	45 (32) (n=24)	47 (26) (n=45)
Value of manure transferred as gifts	43 (27) 20 (8) (n=2)	26 (21) -	36 (18) 20 (8) (n=2)	71 (21) -	53 (14) -	39 (21) 20 (8) (n=2)
Insurance	6 (3)	3 (2)	6 (3)	9 (2)	9 (2)	5 (3)
Credit	4 (10)	4 (3)	5 (3)	4 (3)	5 (3)	4 (3)
Outflows:						
Purchases	23(11) (n=15)	20 (5) (n=9)	27 (16) (n=6)			23 (11) (n=15)
Received as gifts	19 (1) (n=3)	19 (1) (n=2)	20 (n=1)	-	-	19 (1) (n=3)
Revenues:						
Total Gross revenue	110 (71)	58 (42)	97 (46)	181 (67)	171 (66)	82 (54)
Total Gross margin	57 (53)	22 (34)	58 (49)	91 (55)	105 (50)	35 (39)
Gross margin per animal	7 (9)	1 (11)	7 (6)	13 (7)	13 (6)	4 (9)

[†]live animal's weight + births-deaths.

Parameters are expressed in dollars (USD), 1 USD = 1792.79 Burundian francs in October 2018 in the Republic Bank of Burundi.

Correspondence between goat multi-functionality stated through proportional piling and gross margin decomposition

The relative contributions of manure as defined through proportional piling and economic calculation presented a divergence that ranged between 0 and 43%, with an average at 15%. The divergence between the two modes of estimation for the sale function ranged between 0.6 and 62%, with 24% of average. That for the saving function ranged between 0.5 and 73% with 24% of average. For the social function, the divergence ranged between 0 and 43% with 7% of average. A student t-test showed these divergences were significantly greater than null means. Moreover, the ranking of these values did not correlate closely: only the saving contribution showed a Spearman rank correlation coefficient significantly greater than 0 (0.28). Manure function obtained through proportional piling was higher than that estimated through gross revenue, with a median relative importance of 39% and

34% for the 2 methods respectively. On the other hand, the sale function was ascribed a lower relative importance through proportional piling (median of 29%) than through gross revenue calculation (37%).

In cluster 1, the relative contributions of manure and saving functions defined through proportional piling were higher than those estimated through gross revenue calculation, whereas that of sale was lower. In cluster 2, the relative importance of manure function appeared higher through proportional piling and that of sale appeared lower, whereas saving function was significantly correlated with its correspondent in gross revenue ($\rho = 0.38$). In cluster 3, the relative importance of sale function appeared higher through proportional piling, and that of saving appeared lower whereas manure function was significantly correlated with its correspondent in gross revenue ($\rho = 0.48$). In all clusters, proportional piling delivered higher relative importance of the social function compared to gross revenue estimation.

Table 6. Mean (standard deviation) and median of relative importance of goat functions obtained through proportional piling and economic calculations of gross revenue (%)

Groups	Functions	Proportional piling		Components of gross revenue	
		Mean(SD)	Median	Mean(SD)	Median
Overall	Manure	38(10)	39	52(26)	34
	Selling	31(10)	29	46(25)	37
	Saving	24(10)	24	5(26)	22
	Social	7(6)	6	-	-
Cluster1	Manure	44(11)	43	79(160)	32
	Selling	30(8)	29	69(97)	53
	Saving	21(10)	21	-39(243)	16
	Social	5(6)	3	-	-
Cluster2	Manure	37(10)	35	33(15)	33
	Selling	29(12)	26	47(28)	42
	Saving	27(9)	23	19(63)	24
	Social	6.(6)	7	1(10)	0
Cluster3	Manure	39(10)	37	47(19)	47
	Selling	27(8)	26	20 (17)	16
	Saving	26(11)	33	33 (25)	36
	Social	7(7)	6	-	-

Discussion

Methodological approach

The socio-economic approach used, which combines participatory tools and economic calculations, helps to understand the strategies of smallholders and the role of livestock species in these, as well as smallholders' priority of goat functions. However, assessment of the economic productivity for low-input livestock systems remains challenged by the lack of market value of certain functions, which may be of significant endogenous value to farmers. This is the case of the manure function, which was ranked first with proportional piling, while manure is not marketed in the Burundian smallholding systems. Therefore, this value was estimated indirectly from farmer declarations in the increase in yields of beans due to its application. To minimize possible bias related to this approach, strategies to gain confidence with farmers were undertaken and interviews were carried out in anonymity. A directly measuring the bean yields in the fields would be useful as a complement to the present approach.

Farmers' diversity according to the dynamic of goat farming

The households of cluster 1 with the smallest goat heads (4 heads of goats) were goat-oriented in their future. However, the fundamental constraint to goat farming was their excessive sale rate. Thus the greater importance of sale function compared to other groups may be tied to the lack of alternative sources of cash revenues. Therefore, in case of cash need, the majority of them sell goats when available and otherwise rent their labor, as illustrated in Table 4. These results tend to indicate a high level of poverty, where the insufficient farm size and food insecurity act as mutually reinforcing disabling factors for many households in Burundi (Verschelde *et al.*, 2013). This vulnerability causes instability of flocks, precluding their participation in the FFS-based genetic improvement project. Indeed, as reported by Ogola *et al.* (2010) or Udo *et al.* (2011), such a small flock due to excessive offtake rate contradicts the need for well-planned sales and mating for genetic improvement. In addition, the low educational level of these farmers limits their access to information and non-farm activities, and thus represents an additional factor of poverty (Burke *et al.*, 2007). These farmers then appear as victims of a poverty-trap, of which their *de facto* exclusion from FFS is an unfortunate expression, further excluding them from the needed solidarity networks. Indeed, several authors have reported that the role of such small ruminants' associations would not be limited to genetic improvement (De Vries, 2008; Peacock, 2005; Ahuya *et al.*, 2005). Other benefits such as spontaneous mutual practical help, mutual credit systems, training and exchange of experience between smallholders are important spill-overs, although those are not always planned by the intervening organizations.

Farmers of cluster 2 with the greatest farm size (1.2 ha on average) preferred to convert a part of their goat flock into a cow to exploit comparative advantages of these species. Farmers expressed

clearly, that a cow appear to them as more profitable than their goat herds. These considerations are consistent with findings of Desiere et al. (2015) who reported that the probability of having a cow increases with the farm size under the high demographic pressure of the Burundi highlands. The perception of these farmers was that a cow would provide more manure and milk than a herd of goats, with positive effects on crop yields and family welfare, while goats would serve as a bank account for other cash needs. Indeed, in dairy smallholdings of Burundi, the daily milk yield not sucked of a cow appears low (3.6 liters/day on average) but is enough to represent a valuable improvement of family nutrition and to provide extra income, with 60% of milk being regularly sold (Manirakiza et al., 2017). However, although dairy cattle are more advantageous in the production of a higher quantity of manure than goats, these later have a higher feed efficiency than that of cattle (Darcan and Silanikove 2018). Furthermore, farmers recognize that goat manure is of a higher quality than that of cattle, as found by Wuta and Nyamugafata (2012). These authors reported that goat manure managed in the same way as cattle manure was of better quality when applied to fields than cattle manure.

Despite the ability of these farmers to capitalize on goats and further invest in other activities, the cyclical evolution of their goat flocks appears as a weakness for a sustainable participation to FFS. The risk, indeed, is that the selection nucleus is sold and culled before the diffusion of the genetic progress. Furthermore, the orientation towards cattle farming in the future would compete with the attention devoted to goat farming. Biscarini *et al.* (2015) also reported that the perceived low performance of local small ruminants often limits the attention given to them by farmers in favor of large ruminants, supposed to be much more productive.

Although FFS farmers of cluster 3 had small farm size as non- FFS famers of cluster 1, the majority of them (70%) were who a priori considered as successful, according to the multiplication of goat herds and meeting participation. Furthermore, more than half of them (54%) have adopted off-farm alternative activities to mitigate the deficit of agricultural incomes. Nevertheless, Burke *et al.* (2007) showed that such activities only provide temporary mitigation of poverty and that livestock diversification constitutes a more viable option in the fight against poverty. In the present study, these activities would have contributed to the purchase of veterinary treatments and fodder, which were proved to be the highest in this cluster. They would have also contributed to the protection of goats against excessive sales, thus stabilizing the herd and allowing for the observed herd growth in the past. However, a causal or reinforcing role of FFS participation may be proposed to explain this trend. Indeed, this behavior might not be fully spontaneous and could have been induced by the FFS regulation, which imposed restrictions on goat sales before growth performance recording. Herd growth in these farms then partly corresponds to goats that were donated by the project.

The negative relative variation of goat flock that cluster 3 households envisioned for the future nevertheless suggests that these have exceeded the optimal size they are able to raise. Their major

challenge of managing large flocks may be due to the lack of adequate infrastructure for animal housing and insufficient availability of fodder. These farmers also expressed that the susceptibility to diseases increased with flock size, as also reported by Mwebe *et al.* (2011) in a densely populated area of Uganda. Therefore, community-based genetic improvement programs for this cluster are facing a fundamental challenge in this limit of individual farmers to increase their flock size.

Viability of goat farming according to farmers' diversity

The cost results indicated that total costs per flock were estimated to be the greatest in successful FFS group (cluster 3) with larger flocks (13 heads of mean), whereas those per animal were estimated in this group as the lowest. This was also observed according to the region with lower values of total cost per animal in EDP, together with larger flocks, compared to CHL. This suggests a positive relationship between cost efficiency and high flock size as reported by Toro-Mujica *et al.* (2015).

In terms of return, total gross revenues per flock and per animal were significantly higher in cluster 3 than in other clusters. Results showed also that manure and saving provided a higher contribution to the gross revenue in cluster 3 than in others and in EDP than in CHL. Thus, in addition to improvement of bean yield through manure production, the high goat flock size may also be interesting for its intangible benefits, providing social security for smallholders. This may allow them to cope with various risks while the majority had no access to formal credit and insurance institutions (Woldu *et al.*, 2016b; Peacock, 2005). Furthermore, total gross margins per flock and per animal were significantly the greatest in cluster 3 and in EDP. Altogether, these results suggest that high economic efficiency per goat in relatively high flock size (from 10 to 20 animals) is tied to manure function through bean production and saving function. Thus, increasing goat flock size appears as one way to improve economic viability of goat farming. However, the ability of farmers to manage flock size above 10 animals clearly appeared as an issue in this densely populated and highly fragmented agricultural system of Burundi.

Therefore, reproduction performances of goats as well as kids' survival appear as more economically relevant parameters to raise the flock size up to the households' management limit and then the number of marketable kids. The role of FFS would be to assist farmers in selecting animals to be retained for breeding and those to be sold, based on few but most valuable traits defined by smallholders through participatory approaches. Obviously, the tight management limit in increasing herd size forces such projects to work over a wider number of households to allow for the needed width of selection basis. This limit also entails the need for a tight follow-up, evaluation, selection and removal of rejected animals, in order to not immobilize stocks beyond the time technically needed for evaluation. However, such a phenotypic selection will be of interest if traits considered show a high heritability to enable a response to the selection.

Correspondence between goat multi-functionality stated through proportional piling and gross margin decomposition

The divergences between values estimated through proportional piling and gross margin decomposition were significantly greater than null means. The lack of correlation between the two modes of estimation would indicate that both perspectives are needed to reflect the farmers' interests (Gizaw *et al.*, 2018). Indeed, while accountancy provides an estimation of which all constitutive hypotheses are known, the stated relative importance reflects farmers' perceptions, the bulk value of which can then allow for further interviewing and understanding of underlying explanations. In accordance with the classic agricultural household model (Singh *et al.*, 1986), one might also notice that an economic calculation making use of market prices may fail at providing a faithful image of different values (products, wages), given the constraints of households in accessing these markets and the lack of separation between production and consumption.

Hence, the higher estimation of manure function through proportional piling in clusters 1 and 2 could indicate the high importance of their own harvests as compared to market foods, since their subsistence is closely linked to the own production and unconnected to market foods products (Sibhatu and Qaim, 2017). The lower estimation of goat sale function through proportional piling could indicate that farmers would prefer to keep their goats for manure and saving function, but are forced to sell goats because of the lack of alternative cash sources. Conversely, FFS farmers of cluster 3 ascribed to the sale function a higher importance through proportional piling than calculated by gross revenue decomposition, whereas the reverse held for saving function. This may be interpreted as caused by the limitation imposed by the project on goat sale among participants, leading them to state a relative importance that is slightly more in line with their wished evolution. Finally, the proportional piling provided a higher estimate of social function compared to gross revenue decomposition. This might reflect that market prices underestimate the value of the social principles of mutual assistance, which characterized the Burundian society. However this social function was of less importance as it was ranked latter than other functions. As shared by Desiere *et al.* (2015) it might translate a progressive scarcity of animal resources or a deterioration of this traditional social value of mutual assistance (Boogaard and Moyo, 2015).

Conclusion

The results of this study showed that goat farming tends to be well adopted by smallholders with small arable land than those with relatively high arable land, who prefer small goat flocks and a dairy cow to exploit comparative advantages of these species. However, its contribution to the smallholders' livelihoods remains limited by the low productivity due to the high offtake in flocks for farmers without other alternative income resources. Our hypothesis of lack of interest in this species may be confirmed by the low perceived and estimated productivity in manure in this agriculture-based

livelihood system. It may also be confirmed by the tendency towards cattle farming as the farm size increase, supposed to have a high manure productivity. Awareness could promote goat adoption and improve its economic productivity, as observed for some FFS members, but smallholders would be limited by their weak abilities to manage large flocks. Thus, it may be less suitable and difficult to implement and sustain an advanced selection, because smallholders prefer to limit their goat flocks and diversify species. As observed in group 3, the study showed the role of off-farm activities in preserving goat flocks from excessive sales. Hence, we propose to consolidate FFS activities by promoting complementary activities, to protect goats from excessive sales while improving the welfare of smallholders. This would involve a deep commitment of all stakeholders of rural development and researchers for financial and technical support.

Acknowledgements

Authors acknowledge ARES-Research and Higher Education Academy of Wallonie and Brussels for financial support. We thanks also Niyokwizera Dieudonné and community animal health agents for their help in data collection.

References

- Ahuya C.O., Okeyo A.M., Mwangi N. and Peacock C. 2005. Developmental challenges and opportunities in the goat industry: The Kenyan experience. *Small Ruminant Research*, 60, 197–206.
- Ayalew W., Rischkowsky B., King J.M. and Bruns E. 2003. Crossbreds did not generate more net benefits than indigenous goats in Ethiopian smallholdings. *Agricultural Systems*, 76, 1137–1156.
- Bidou J.E., Ndayirukiye S., Ndayishimiye J.P. and Sirven P. 1991. *Géographie du Burundi*. Hatier, Paris, 228pp.
- Biscarini F., Nicolazzi E., Alessandra S., Boettcher P. and Gandini G. 2015. Challenges and opportunities in genetic improvement of local livestock breeds. *Frontiers in Genetics*, 6, 33–39.
- Boogaard B. and Moyo S. 2015. The multi-functionality of goats in rural Mozambique: Contributions to food security and household risk mitigation. ILRI Research Report 37. Nairobi, Kenya: International Livestock Research Institute (ILRI).
- Burke W.J., Jayne T.S., Freeman H.A. and Kristjanson P. 2007. Factors associated with farm households' movement into and out of poverty in Kenya: The rising importance of livestock. International livestock research institute. From www.aec.msu.edu/fs2/papers.
- Camara Y., Moula N., Sow F., Sissokho M.M., and Antoine-Moussiaux N. 2019a. Analysing innovations among cattle smallholders to evaluate the adequacy of breeding programs. *Animal*, 13, 417–426.
- Camara Y., Moula N., Sissokho M.M., Farnir F., and Antoine-Moussiaux N. 2019b. Determinants of breeders' participation to an indigenous cattle breeding program. *Agronomy for Sustainable Development*, 39–44.

- Darcan N. and Silanikove N. 2018. The advantages of goats for future adaptation to Climate Change: A conceptual overview. *Small Ruminant Research*, 163, 34–38.
- De Vries J. 2008. Goats for the poor: Some keys to successful promotion of goat production among the poor. *Small Ruminant Research*, 77, 221–224.
- Desiere S., Niragira S. and D’Haese M. 2015. Cow or Goat? Population pressure and livestock keeping in Burundi. *Agrekon*, 54, 23–42.
- Gizaw S., Abebe A., Bisrat A., Zewdie T. and Tegegne A. 2018. Defining smallholders’ sheep breeding objectives using farmers trait preferences versus bio-economic modelling. *Livestock Science*, 214, 120–128.
- Haile A., Wurzinger M., Mueller J., Mirkena T., Duguma G., Mwai O., Sölkner J and Rischkowsky B. 2011. Guidelines for Setting up Community-based Sheep Breeding Programs in Ethiopia. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA–tools and guidelines No.1. Aleppo, Syria, 37pp.
- Hendrik M., Udo J. and Steenstra F. 2010. Intensification of smallholder livestock production, is it sustainable ? The 5th International Seminar on Tropical Animal Production, Yogyakarta, Indonesia, 19–26.
- Husson F., Josse J. and Pagès J. 2010. Principal component methods - hierarchical clustering - partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data? Technical Report, 1–17.
- Lê S., Josse J., and Husson F. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25, 1–18.
- Manirakiza J., Hatungumukama G., Thévenon S., Gautier M., Besbes B., Flori L. and Detilleux J. 2017. Effect of genetic European taurine ancestry on milk yield of Ankole-Holstein crossbred dairy cattle in mixed smallholders system of Burundi highlands. *Animal Genetics*, 48, 544–550.
- Moll H.A.J. 2005. Costs and benefits of livestock systems and the role of market and nonmarketrelationships. *Agricultural Economics*, 32, 181–193.
- Mueller J.P., Rischkowsky B., Haile A., Philipsson J., Mwai O., Besbes B., Valle Zárate A., Tibbo M., Mirkena T., Duguma G., Sölkner J. and Wurzinger M. 2015. Community-based livestock breeding programmes: Essentials and examples. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 132, 155–168.
- Mwebe R., Ejobi F. and Laker C.D. 2011. Assessment of the Economic Viability of Goat Management Systems in Goma Sub County and Mukono Town Council in Mukono District, Uganda. *Tropical Animal Health and Production*, 43, 825–831.
- Ogola T.D.O., Nguyo W.K. and Kosgey I.S. 2010. Economic contribution and viability of dairy goats: Implications for a breeding programme. *Tropical Animal Health and Production*, 42, 875–885.
- Peacock C. 2005. Goats - A pathway out of poverty. *Small Ruminant Research*, 60, 179–186.
- Sibhatu K.T. and Qaim M. 2017. Rural food security, subsistence agriculture and seasonality. *PLoS-One*, 12, 1–15.
- Siddo S., Moula N., Hamadou I., Issa M., Marichatou H., Leroy P. and Antoine-Moussiaux N. 2015. Breeding criteria and willingness to pay for improved Azawak zebu sires in Niger. *Archives of Animal Breeding*, 58, 251–259.

Singh I., Squire L., and Strauss J. 1986. *Agricultural Household Models: Extensions, Applications and Policy*. John Hopkins University Press, Baltimore, 335pp.

Tindano K., Moula N., Traoré A., Leroy P. and Antoine-Moussiaux N. 2017. Assessing the diversity of preferences of suburban smallholder sheep keepers for breeding rams in Ouagadougou, Burkina Faso. *Tropical Animal Health and Production* 49, 1187–1193.

Toro-Mujica P., García A., Aguilar C., Vera R., Perea J. and Angón E. 2015. Economic Sustainability of Organic Dairy Sheep Systems in Central Spain. *Italian Journal of Animal Science*, 14, 193–201.

Udo J. Aklilu H.A., Phong L.T., Bosma R.H., Budisatria G.S., Patil B.R., Samdup T. and Bebe B.O. 2011. Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. *Livestock Science* 139, 22–29.

Verschelde M., D’Haese M., Rayp G. and Vandamme E. 2013. Challenging small-scale farming: A non-parametric analysis of the (inverse) relationship between farm productivity and farm size in Burundi. *Agricultural Economics*, 64, 319–342.

Woldu T., Markemann A., Reiber C., Kassie G.T. and Valle A. 2016a. Combining revealed and stated preferences to define goat breeding objectives in Ethiopia. *Livestock Science*, 191, 179–186.

Woldu T., Markemann A., Reiber C., Muth P.C. and Zárate A.V. 2016b. Optimising contributions of goat farming to household economic success and food security in three production systems in Ethiopia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 117, 73–85.

Wurzinger M., Sölkner J. and Iñiguez L. 2011. Important aspects and limitations in considering community-based breeding programs for low-input smallholder livestock systems, *Small Ruminant Research*, 98, 170–175.

Wuta M. and Nyamugata P. 2012. Management of cattle and goat manure in Wedza smallholder farming area, Zimbabwe. *African Journal of Agricultural Research*, 7, 3853–3859.

Yaekob L., Kirman M.A. and Birhanu B. 2017. Participatory identification of breeding objective traits of Woyto-Guji goat in Loma district, Ethiopia. *International Journal of Livestock Production*, 8, 131–135.

IID. Conclusion partielle

Les résultats de ces deux sections ont montré que l'encadrement technique des agri-éleveurs à travers les CEPs a conduit à l'adoption de nouvelles technologies et à l'amélioration de la productivité par animal, que ce soit en élevage bovin ou en élevage caprin. Ils ont également indiqué que l'efficacité des CEPs dans l'adoption des innovations et leur diffusion est conditionnée par un appui financier et technique extérieur. Le rôle de ces CEPs dans la mise en place d'un programme de sélection basée sur les valeurs d'élevage des animaux pourrait cependant être limité par les ventes excessives liées à la pauvreté des agri-éleveurs de chèvres, la fonction d'accumulation de revenus pour d'autres investissements et la tendance vers la spéculation bovine avec l'augmentation du niveau de richesse. En effet, les résultats des calculs économiques ont montré que les performances économiques de l'élevage bovin seraient plus élevées que celles de l'élevage caprin. Les éleveurs perçoivent alors que l'élevage caprin serait bénéfique s'il leur permet d'avoir une vache supposé plus rentable et exploiter les avantages comparatifs entre les deux espèces. En effet, même si l'élevage bovin serait plus rentable que celui des caprins, les chèvres disposent l'avantage d'être facilement vendues en cas de besoins par rapport à un bovin.

La sensibilisation des paysans à travers les CEPs a montré un effet favorable à l'adoption de l'élevage caprin. Cependant, si la productivité économique par chèvre était significativement plus élevée dans le groupe d'agri-éleveurs adhérant aux CEPs avec plus de 10 chèvres par rapport à ceux qui possédaient un troupeau de moindre taille, les agri-éleveurs semblent incapables de gérer des troupeaux caprins de plus de 10 chèvres. Il s'agirait donc d'organiser un programme de sélection phénotypique pour augmenter la taille des troupeaux jusqu'à l'optimum gérable et l'approvisionnement d'animaux suffisants pour les ventes, tout en améliorant la valeur intrinsèque de chaque animal. En effet, l'étude sur la caractérisation des systèmes d'élevage caprin (partie IC) a révélé que les agri-éleveurs apprécient les animaux vigoureux et à croissance rapide. Les caractères d'intérêt économique de ce programme seraient donc la croissance de chevreaux et la limitation du taux de mortalité des petits pour une croissance rapide des troupeaux jusqu'à un optimum gérable. Cependant, une telle sélection phénotypique serait bénéfique si ces caractères présentent une forte héritabilité pour permettre une réponse à la sélection.

Partie III. Les paramètres génétiques de la chèvre locale en milieu rural burundais

Préambule

Cette partie présente les résultats d'un article sur les paramètres génétiques de croissance et de survie des chevreaux de la chèvre de race locale en milieu rural burundais. Cet article est accepté pour publication dans *Animals*.

Les caractères de conformation doivent être compris comme des mesures du format des animaux. La prédiction des paramètres génétiques a été effectuée à l'aide de modèles statistiques de type « Animal ». Un exemple de représentation matricielle du modèle animal est présenté ci-dessous. Il s'agit des poids de 4 animaux, 2 mâles et deux femelles. En notation matricielle, le modèle s'écrit $y = X \underline{b} + Z \underline{a} + \underline{e}$ et dans notre exemple, il correspond à cette équation :

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array} \right| \begin{array}{c} b_1 \\ b_2 \end{array} + \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{array} + \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{array} \right| \end{array} \end{array}$$

avec y_i = poids de 4 chevreaux ($i = 1, 2, 3, 4$); b_1 = effet non génétique (mâle) affectant le poids des chevreaux ; b_2 = effet non génétique (femelle) affectant le poids des chevreaux ; X = matrice d'incidence reliant les éléments b_i aux éléments y_i ; a_i = valeur génétique additive du chevreau ; Z = éléments reliant les valeurs a_i à y_i ; e_i = effets résiduels pour les mesures effectuées sur le poids des chevreaux. On présume que le vecteur \underline{e} est distribué normalement $N(0, I \sigma^2_e)$. Le vecteur \underline{a} est distribué normalement $N(0, A \sigma^2_a)$ et A est la matrice d'apparenté.

Résultats des effets fixes inclus dans le modèle animal

Les animaux nés simples étaient significativement plus lourds que les jumeaux; la différence de moyenne entre moindres carrés était de $1,1 \pm 0,12$ kg (Figure 1). Les mâles étaient significativement plus lourds que les femelles à 12 mois, avec une différence entre moyennes de moindre carré de $0,34 \pm 0,15$ kg. Les différences entre moyennes des moindres carrés n'étaient pas significatives aux autres âges (Figure 1). Les animaux mesurés en saison sèche pesaient $0,37 \pm 0,17$ kg de plus que ceux mesurés en saison des pluies (différence significative). Les chevreaux de la province de Rutana pesaient $1,7 \pm 0,3$ kg de plus (différence significative) que ceux de la province de Gitega (Figure 2). Cette observation a également été vérifiée dans l'étude sur la caractérisation des caprins et de leurs systèmes de production selon les zones agro-écologiques du pays (partie IC). En effet, les chèvres étaient plus lourdes et de plus grand gabarit dans les régions périphériques à saison sèche longue que dans les régions humides de haute altitude. Cela pourrait être lié aux différences de mode de conduite

en gardiennage sur des parcours arbustifs dans la province de Rutana et en confinement dans la province Gitega.

Pour les paramètres de reproduction, les résultats ont montré que la taille moyenne de la portée à la naissance était de 1,4 chevreaux, légèrement inférieure dans la province de Gitega (1,2 chevreaux) que dans la province de Rutana (1,6 chevreaux). Ces différences peuvent être expliquées en partie par la corrélation négative qui existe entre poids et taille de la portée (Ngoni, 2008). Cependant, des mesures d'amélioration des conditions d'élevage restent requises car le taux de mortalité juvénile chez les jumeaux était très élevé (42%) par rapport aux portés simples (24%).

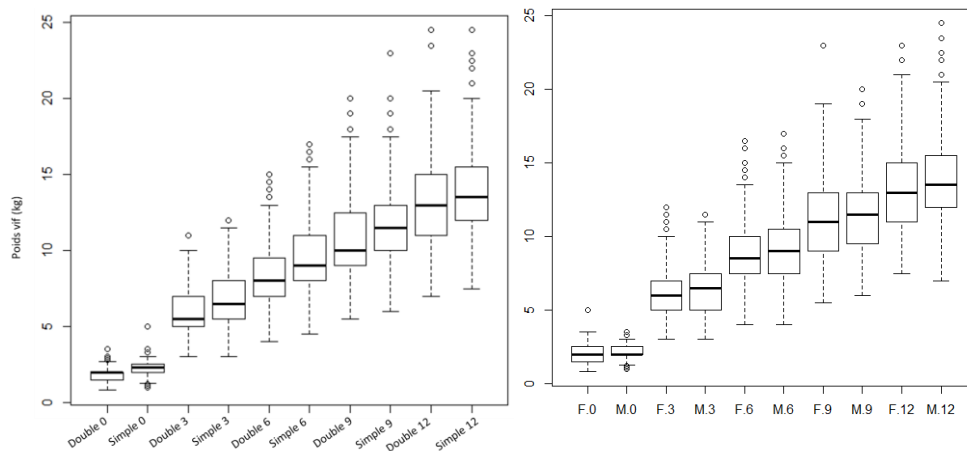


Figure 1 : Evolution du poids vif des chevreaux selon les types de naissances et le sexe (F=femelle ; M=male)

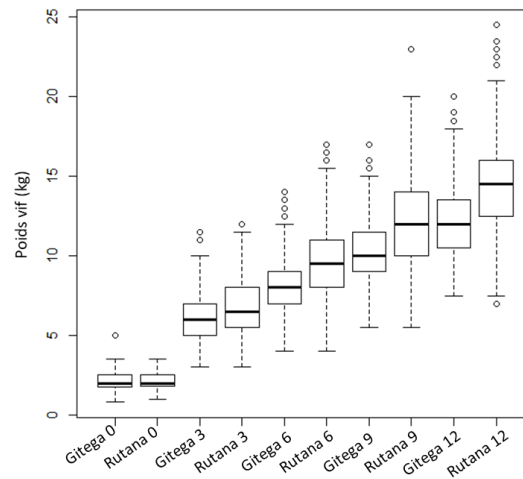


Figure 1 : Evolution du poids vif des chevreaux selon les provinces d'étude

IIIA. Les paramètres génétiques de croissance et de survie des chevreaux de race locale en milieu rural burundais

Résumé

L'étude vise à estimer les paramètres génétiques de croissance, de format et de survie des chevreaux de la chèvre locale dans les élevages villageois du Burundi. Pour ce faire, des mesures ont été prises sur le poids vif, le périmètre thoracique, la longueur du corps et la hauteur au garrot soit à la naissance ($n=1538$ animaux), à 3 mois ($n=1270$ animaux), à 6 mois ($n=992$ animaux), à 9 mois ($n=787$ animaux) et à 12 mois ($n=705$ animaux). Les chevreaux étaient nés de 2016 à 2019, issus de 645 mères et 106 boucs. Trois modèles de type animal bivarié ont été utilisés pour estimer les paramètres génétiques du poids corporel et de chacune des mesures linéaires de format, indicateurs potentiels de ce poids. Selon la mesure, l'héritabilité a été estimée entre 5 et 17% et les corrélations génétiques entre 0,65 et 0,79. Un « modèle animal du temps de défaillance accéléré » a été utilisé pour estimer l'héritabilité de la survie des chevreaux jusqu'à un an, ajustée pour le poids à la naissance. La survie des chevreaux était significativement prolongée de 0,64 jours par kilo de poids à la naissance. L'héritabilité estimée pour ce caractère était de 2%. Ces résultats suggèrent qu'une sélection génétique serait possible pour améliorer la croissance des animaux, qu'elle soit basée directement sur le poids vif ou sur les caractères de format. Parallèlement, des efforts devraient viser l'amélioration des conditions d'élevage afin d'augmenter la durée de survie des chevreaux.

Mots-clés: poids corporel, héritabilité, répétabilité, corrélations génétiques, approche bayésienne, analyse de la survie.

Genetic parameters for growth and kid survival of indigenous goat under smallholding system of Burundi

Article in press: *Animals*

Manirakiza J.^{1,2}, Hatungumukama G.¹, Detilleux J.²

1 Department of Animal Health and Productions, Faculty of Agronomy and Bioengineering, University of Burundi, B.P. 2940, Bujumbura, Burundi.

2 Fundamental and Applied Research for Animals and Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liège - 6 Avenue de Cureghem, 4000 Liège, Belgium.

Abstract

The goal of this study was to estimate genetic parameters for the growth, conformation and survival of goat kids raised in smallholder farming systems in Burundi. To do this, measurements were taken on live weight, thoracic perimeter, length and height at birth (n = 1538 animals), at 3 months (n = 1270 animals), at 6 months (n = 992 animals) at 9 months (n = 787 animals) and at 12 months (n = 705 animals). Kids were born between 2016 and 2019, from 645 dams and 106 bucks. Three bivariate animal models were used to estimate genetic parameters of body weight and conformation measurements as potential indicators of this weight. According to the measure, heritability was estimated between 5 and 17% and genetic correlations between 65 and 79%. An accelerated failure time animal model was used to estimate the heritability of survival for kids under one year, adjusted for birth weight. Goat survival was significantly prolonged by 0.64 days per kilogram of birth weight. The estimated heritability for this trait was 2%. Overall, these results suggest that a selection program could be implemented to improve animal growth, either directly on weight or indirectly on conformational traits. At the same time, efforts need to be made to improve rearing conditions to increase the survival of kids.

Key-words: body weight, heritability, repeatability, genetic correlations, Bayesian approach, survival analysis.

Introduction

Goats play a key multifunctional role in food security and poverty alleviation of smallholder farmers in many less developed countries such as Burundi. Native goats, the most important breed, were considered the most suitable species for harsh environments (Rashamol *et al.*, 2018) but they are not productive enough to ensure food security and well-being of goat farmers (Devendra, 2013). One reason is that native breeds have been naturally selected to be adapted to their marginal environment, but not to increase their level of performance (Rege *et al.*, 2011). Another reason is that these goats are considered a source of income for urgent and regular needs, which leads to negative selection by selling fast-growing kids (Gizaw, *et al.*, 2014_a).

Given their low level of productivity, it may be feared that native goats will vanish (Klug *et al.*, 2010) so different genetic interventions aimed at improving their productivity level have been proposed. We recognize that productivity could be boosted by improving animal management (Miah *et al.*, 2003), but this requires skills that farmers do not necessarily possess (Manirakiza *et al.*, 2019). In addition, genetic improvement is inherently cumulative from one generation to the next and this is not the case for animal management.

One genetic intervention has been to cross them with imported breeds. But a consequence of this crossbreeding scheme is that the local, old and well adapted breed could be left behind and so its unique genetic makeup.

Another alternative would be to set up a genotypic breeding program whose goals would be to improve goat productivity. To do this, accurate information on pedigree and performance is needed. This information is often not available because of the many constraints on small-scale farming systems in the least developed countries. These include the high illiteracy rate among smallholders, the lack of animal identification and pedigree recording systems, the non-existence of institutional frameworks and the inadequacy of village-level organizations to ensure an effective participation of the farmers in breeding programs (FAO, 2016; Mrode *et al.*, 2018; Ibeagha-Awemu, 2019). Thus, genotypic breeding programs have been implemented in stations, but the disadvantages are numerous. These include the incompatibility between the environments in the station and the conditions in the village, the financial and technical problems due to the lack of long-term commitment of institutions in developing small ruminants breeding and the non-participation of farmers in the design and implementation of these breeding programs (Gizaw *et al.*, 2014_b).

Another solution would be to set up a phenotypic selection program directly on the farm. In such case, community-breeding organizations have an important role to play. In fact, they have been set up in many developing countries to support programs to improve the performance of small ruminants (Mueller *et al.*, 2015; Gizaw *et al.*, 2014_b; Mirkena *et al.*, 2012). Among others, the role of such organizations is to overcome the challenge of the small organizational capacity of smallholders to

collect accurate data. One point to consider in phenotypic selection is that it would be effective only if the traits to be improved had "good genetic parameters", including heritability or genetic correlation. For example, if the heritability of a trait is high, the effects on the environment would be low and it would not be necessary to obtain information on pedigree and genotypes for genetic progress to be effective (Jussiau, 2013). Efficiency of phenotypic selection can also be improved by indirect selection based on the correlation of traits because traits that are cheap or easy to measure and that have favorable genetic correlations with economically important traits that are more difficult or expensive to measure can be utilized as indicator traits.

This is the option taken in this study. We have collected information on goat characteristics in pilot farmer associations called Farmer Field School (FFS) as they help producers build their technical capacity. Researchers and local veterinary services followed the FFS and collected information on goat performance and pedigree. Selection objectives and criteria to be improved in the phenotypic selection program have been identified after surveying the farmers (Manirakiza *et al.*, 2019). This survey showed that mortality and slow growth rates were the main factors limiting the profitability of goats farming, as they reduced the number and value of marketable kids. In addition, these factors had a negative impact on genetic improvement by reducing the size of the breeding nucleus as well as the amount of data to estimate genetic parameters.

Therefore, this study aims to estimate the genetic parameters of growth and mortality rates of local goats raised in smallholder Burundian farming systems to determine whether phenotypic selection would be relevant to these traits.

Materials and methods

Study areas

The study area included the provinces of Gitega and Rutana. Gitega province is located in the humid central uplands and Rutana province in the dry eastern lowlands. The geoclimatic and management characteristics of goats in these provinces are summarized in Table 1. Two communes were identified in each province: Nyarusange and Ryansoro in the Gitega province, and Rutana and Bukemba in the Rutana province. In each of these communes, two villages and 15 farmers per village were trained to form an FFS.

Table1: Characteristics of climate and goat management of the study areas

province	Altitude (m)	annual temperature (°C)	annual rainfall (mm)	dry season (months)	goat management
Gitega	1350-2000	17-25	1200-1500	From Jun to September or October	stall-feeding with forage crops (<i>Pennisetum purpureum</i> , <i>Trypsacum laxum</i> and <i>Setaria sphacelata</i>) and crops by-products
Rutana	1125-1400	22-28	900-1200	From May to November	free grazing complemented with crops by-products

Field data

Each animal has been identified with an ear tag number and each event (e.g., birth, abortion, diseases, mortality) has been recorded. The data covered a period of 3 years, between 2016 and 2019. Dams remained in the flock until death while the bucks were replaced when the first offspring of their son were old enough to mate. Breeding males were traded between farmers while the others were sold.

For each kid, a record included the parents' identity codes, its sex, date and type of birth, dam's parity, herd code, and performance. Body weight (BW), chest girth (CG), body length (BL) and height at withers (HW) were recorded at birth, 3 months, 6 months, 9 months and 12 months. The BW is the selection criteria and CG, BL and HW are indicator traits. Measurements at birth had to be recorded within 3 days of birth. Measurements were taken (with a mobile scale and measuring tape) by trained community animal health workers in each village. Data has been regularly recorded in a central data set. Survival time was measured as the number of days alive over a one-year period since birth. Usually, one year is age at first service or optimal sale, as reported by farmers. Animals who have not experienced death during this period were right-censored (unknown survival time but at least 360 days).

During the follow-up period, a total of 1538 kids were born to 645 dams and 106 sires with 1538, 1270, 992, 787 and 705 records at birth, 3 months, 6 months, 9 months and 12 months respectively. About 1149 records on length of survival were gathered.

Data analysis

All analyses were performed in R software: Rx64 3.5.1.

Body weight and linear measurements

After computing preliminary descriptive statistics, records were analysed assuming three bivariate repeatability-maternal animal models, one for BW and CG, one for BW and BL and one for BW and HW:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{a1} & 0 \\ 0 & Z_{a2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m1} & 0 \\ 0 & Z_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{p1} & 0 \\ 0 & Z_{p2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{c1} & 0 \\ 0 & Z_{c2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

where y_1 is the vector of observations for BW and y_2 is the vector of observations for CG, BL or HW; b_1 and b_2 are the corresponding vectors of fixed effects; a_1 and a_2 are the corresponding vectors of additive genetic effects; m_1 and m_2 are the vectors of maternal effects; p_1 and p_2 are the vectors of permanent environmental effects; c_1 and c_2 are the vectors of common environmental effects; e_1 and e_2 are the vectors of random residuals; and X_i , Z_{ai} , Z_{pi} , Z_{mi} and Z_{ci} are the incidence matrices relating y_i to the corresponding vectors ($i = 1$ et 2). The fixed effects included in all three models were: age (n classes = 5), sex (n classes = 2), parity (n classes = 3) and type of birth (n classes = 2) as well as all interactions. Furthermore, random components were assumed normally distributed: $a \sim N(0, A \sigma_a^2)$, $m \sim N(0, I \sigma_m^2)$, $p_e \sim N(0, I \sigma_p^2)$, $c_e \sim N(0, I \sigma_c^2)$ and $e \sim N(0, I \sigma_e^2)$ where σ_a^2 , σ_m^2 , σ_p^2 , σ_c^2 and σ_e^2 are the variances components and A is the additive genetic relationship matrix.

Survival analysis of Kid mortalities

An accelerated failure time (AFT) animal model (Komarek and Lesaffre, 2007; Jiezhi, 2009; Kleinbaun and Klein, 2015) was used to estimate the effects of risk potential factors affecting survival time. The model is:

$$\log(ST) = Xb + Z_a a + Z_m m + Z_c c + e$$

where ST represents the vector of survival times; \log is the logarithm; b is the vector of fixed effect of birth weight; a is the vector of additive genetic effects; m is the vector of maternal effects; c is the vector of common environmental effect (i.e, a vector of random herd, year and season of death); e is the vector of random residuals; and X , Z_a , Z_c and Z_m , are incidence matrices relating y to corresponding vectors. Exponential distributions were assumed for all random components where σ_a^2 , σ_m^2 , σ_c^2 and σ_e^2 are the variances components and A is the additive genetic relationship matrix.

Bayesian estimation

For both models, variance components and genetic parameters were estimated using a Bayesian approach and with the MCMCglmm package-R (Wilson *et al.*, 2010; Kruuk and Hadfield, 2007). Inverse-gamma prior distributions with different values for the shape and scale parameters were chosen as priors for all variance matrices (Hadfield, 2010; De Villemereuil, 2012). Number of MCMC iterations was set at 100,000, burn-in at 10,000 and thinning interval at 10. Convergence to the target distribution was checked through visual inspection of all trace and density plots.

Output of the iterations were used to calculate the mean, median and highest posterior density (HPD) interval for each variance/covariance components (Hosseini-Zadeh and Ghahremani, 2018; De Villemereuil, 2012; Wilson *et al.*, 2010). Phenotypic variances (σ_{ph}^2) of body weights and linear measurements were computed as: $\sigma_{ph}^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_p^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2$. Then, heritability (h^2) and repeatability (r) were computed as: $h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_{ph}^2$ and $r = (\sigma_a^2 + \sigma_p^2) / \sigma_{ph}^2$. Genetic correlations between BW and one of the indicator trait (CG, BL or HW) were computed with the following model:

$r_g = g_{12} / (g_{11} * g_{22})^{1/2}$ where g_{12} is the additive genetic covariance between the two traits, and g_{11} and g_{22} are the additive genetic variance for trait 1 and 2, respectively.

Results

Overall means BW (\pm standard deviation) at birth, 3 months, 6 months, 9 months and 12 months were 2.1 ± 0.5 , 6.4 ± 1.6 , 9 ± 2.2 , 11.4 ± 2.5 and 13.6 ± 2.9 kg, respectively. Phenotypic correlations between BW and CG, BW and BL and between BW and HW were 0.95, 0.94 and 0.93, respectively. Mean litter size at birth was 1.4 kids, slightly smaller in the Gitega (1.2) than in the (1.6) Rutana province. Mortality rate up to one year was estimated at 31.6% and was higher among twins (42%) than among kids born alone (24.2%).

Results of the statistical analyses are given in Table 2: Posterior means, medians and limits of HPD intervals for h^2 , r , genetic correlations and all variance components. There appears to be a tendency for estimates of σ_m^2 to be smaller than the other variance components, especially for BW, CG, BL and HW. Inversely, estimates of σ_e^2 are highest for CG, BL and HW and estimates of σ_c^2 is highest for ST. Heritability estimates are very low for BL and log (ST) and close to 15% for BW, CG, and HW. Genetic correlations are between 60 and 70%.

Age, sex and type of birth significantly influenced body weights. For example, posterior BW mean of twins was 1 kg lower than posterior BW mean of singles (0.7 and 1.3 kg for the lowest and highest HPDP limits). Posterior BW mean of males was 0.58 kg heavier than females (0.35 and 0.83 for the lowest and highest HPDP limits). Concerning ST, the time ratio to death is expected to decrease significantly by 0.64 day per one kg increase in birth BW.

Table 2: Mean, median and highest posterior density (HPD) lowest and highest limits for genetic parameters of body weights, chest girth, body length, height at wither and survival up to 12 months: additive (σ^2_a), maternal (σ^2_m), permanent environmental (σ^2_p) and common environmental (σ^2_c) variance components; repeatability (r) and heritability (h^2) and genetic correlations between body weight and chest girth (BW_CG), body weight and body length (BW_BL) and between body weight and Height at wither (BW_HW).

Trait	Genetic parameters	Mean	Median	Lowest	Highest
Body weight	σ^2_a (kg ²)	0.58	0.57	0.37	0.79
	σ^2_m (kg ²)	0.22	0.23	0.09	0.38
	σ^2_p (kg ²)	0.55	0.54	0.37	0.70
	σ^2_c (kg ²)	0.41	0.42	0.33	0.53
	σ^2_e (kg ²)	1.57	1.57	1.5	1.61
	h^2	0.17	0.17	0.11	0.23
	r	0.33	0.33	0.29	0.38
Chest girth	σ^2_a (cm ²)	2.56	2.53	1.44	3.65
	σ^2_m (cm ²)	1.5	1.49	0.76	2.2
	σ^2_p (cm ²)	2.08	2.08	1.23	2.88
	σ^2_c (cm ²)	1.15	1.15	0.8	1.5
	σ^2_e (cm ²)	7.95	7.95	7.56	8.31
	h^2	0.16	0.16	0.09	0.24
	r	0.30	0.30	0.26	0.35
Body length	σ^2_a (cm ²)	0.59	0.54	0.0004	1.49
	σ^2_m (cm ²)	1.00	1.00	0.39	1.59
	σ^2_p (cm ²)	3.10	3.12	2.31	3.86
	σ^2_c (cm ²)	1.19	1.19	0.86	1.54
	σ^2_e (cm ²)	7.00	6.99	6.67	7.34
	h^2	0.05	0.04	0.0003	0.11
	r	0.29	0.28	0.23	0.33
Height at wither	σ^2_a (cm ²)	1.65	1.61	0.86	2.5
	σ^2_m (cm ²)	1.37	1.36	0.79	1.94
	σ^2_p (cm ²)	1.77	1.78	1.14	2.41
	σ^2_c (cm ²)	1.12	1.11	0.83	1.44
	σ^2_e (cm ²)	5.96	5.96	5.68	6.25
	h^2	0.13	0.14	0.07	0.21
	r	0.29	0.29	0.24	0.34
Kid survival	σ^2_a (days ²)	0.05	0.06	0.03	0.10
	σ^2_m (days ²)	0.05	0.06	0.03	0.10
	σ^2_c (days ²)	1.78	1.81	1.35	2.32
	σ^2_e (days ²)	0.05	0.05	0.03	0.09
	h^2	0.02	0.02	0.01	0.04
Genetic Correlations	BW_CG	0.79	0.75	0.52	0.90
	BW_BL	0.65	0.61	0.24	0.85
	BW_HW	0.74	0.72	0.47	0.87

Discussion

The main objective of this study was to obtain BW and ST genetic parameters to confirm or not whether phenotypic selection of these traits would be possible in smallholding farms regrouped in FFS. Our results are more or less consistent with estimates published in the literature. For example, our BW h^2 estimate is within the range (0.09 to 0.47) reported by several authors from BW measured between birth and yearling age in different goat breeds (Mohammed *et al.*, 2018; Gowane *et al.*, 2011; Roy *et al.*, 2008; Alade *et al.*, 2011). However, it is higher than the one reported by Taşkın *et al.* (2000) and lower than those reported by Bosso *et al.* (2007) and Gholizadel *et al.* (2010) for different growth periods. Similarly, our ST h^2 estimate is in the range reported by Rout *et al.*, 2018 (0.00 to 0.03) and Getachew *et al.*, 2015 (0.02 to 0.10) for lambs.

Given that estimates of h^2 for growth related traits were low to moderate, on-farm phenotypic selection to improve these traits is thought to be not very effective in the current situation. This is because the expected response to selection, i.e., the gain achieved by mating the selected parents, is directly related to h^2 (Falconer and Mackay, 1996). But the situation could be improved with better recording and management. Indeed, h^2 values were not caused by a paucity of σ_a^2 but by great residual variances. For example, median estimates of σ_a^2 for BW is 0.58 kg² much lower than the estimate for σ_e^2 at 1.57 kg². A similar disparity is also noticeable for CG, BL and HW. Moreover, estimates of repeatability, which is often considered as the upper limit to heritability (Dohm, 2002), were close to 30% for BW, CG, BL and HW. So, given that σ_a^2 is not negligible and that repeatability is 30%, there may be some genetic variation between animals and it would be possible to select animals as parents of the next generation based on their phenotypic values (Van Vleck *et al.*, 1987) for growth.

Other factors such as the shallow depth of the pedigree may also explain the low h^2 estimates. Indeed, missing parentage data have been shown to influence h^2 estimates in domestic and wild species (Pemberton, 2008). Another element concerns human errors when recording mating details and phenotypic information, despite our efforts to verify the data. This is a genuine problem as wrong and missing pedigree information lead to a downward bias of both heritability estimates and genetic covariances (Nilforooshan *et al.*, 2008) and reduce genetic gain (Sanders *et al.*, 2006). We included maternal environmental effects in our models as they contribute to offspring phenotypic variation (Dodenhoff *et al.*, 1998; Maniatis and Pollott, 2002; Willmore *et al.*, 2006) but covariance can also exist between direct additive and maternal genetic effects. If this covariance is negative, a gene with a positive effect on an offspring trait may have a negative effect on maternal performance for that trait and this will may act to maintain genetic variance. Then, h^2 is not necessarily a useful measure of a trait's potential to evolve (Kirkpatrick and Lande, 1989). Finally, possible allelic interactions within loci (dominance) and between loci (epistasis) may also explain parts of the total genetic variation (Vitezica *et al.*, 2018) and should not have been neglected. We acknowledge these limits but our data

were unfortunately not sufficient to allow good estimates of all these parameters simultaneously. A more in-depth analysis must be done to check our results.

Estimates of genetic correlations between BW and CG, BL and HW are high suggesting these indicator traits could be used to indirectly select for better growth. As it has been reported elsewhere (Jafari and Hashemi, 2014, Hossein-Zadeh and Ghahremani, 2018), the most important correlation was found between BW and CG (0.79). This may be because GC and BW are both tissue-related measurements while BL and HW are skeletal-related measurements (Salako, 2006). Whatever the cause, this observation is important because goat prices in the market are systematically decided after visual observation of the animal's conformation, and less according to BW. Estimates of repeatability of measures of BW, CG, BL and HW across ages are all around 30%. As a measure a consistency of these measures, it indicates that multiple measurements of BW, CG, BL and HW are necessary to evaluate accurately the animal over its lifetime (Dohm, 2002). For example, knowing the weight at an early age would less predict the adult weight.

Concerning ST, h^2 is null and common environmental variance is very high. Therefore, the expected response to selection for this trait would be almost null and efforts should focus on improving the environmental conditions in which kids are raised, especially as the number of days of survival increases as birth weight increases. This is a great challenge because veterinary surveillance systems are weak. As an illustrative example, the outbreak of small ruminant pest decimated more than 4,000 goats herds in 2018 (Niyokwishimira *et al.*, 2019). A meta-analysis shows that animal diseases kill about 18% of livestock in low-income countries (Pradère, 2014). At institutional level, Ilukor (2017) proposes various recommendations to alleviate the animal health situation in Africa among which the role of FFs and community-based animal health workers to disseminate farming techniques and methods that optimize animal production and health (Watson, 2008; FAO, 2018).

Their role is also essential to ensure the sustainability of breeding programs as these require a long-term commitment from all stakeholders (Wurzinger and Gutierrez, 2017). In this study, we also suggest that the on-farm phenotypic selection program be accompanied by a genotypic selection program conducted under well-controlled conditions in a research center. Selected elite bucks could be distributed to the goat population of FFS members. However, a long-term link between the FFS and the center as well as the sources of funding must be well studied.

Conclusion

Results of estimates genetic parameters in this study indicated that a modest genetic progress could be achieved by on farm phenotypic selection of indigenous goats with better weight and conformation. This phenotypic selection should be accompanied by efforts on improving recording

and management. On the other hand, response to selection for kid survival would be almost null and efforts should focus on improving the environmental conditions in which kids are raised.

Acknowledgements

This research was funded by ARES-CCD (Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur - Commission pour la Coopération au Développement, Belgium). We also warmly thank the representants of the cooperatives who gave us their valuable time for participating in the data collection.

References

- Alade N.K., Dilala M.A. and Abdulyekeen A.O. 2011. Phenotypic and genetic parameter estimates of litter size and body weights in goats. *International Journal of Science and Nature*, 1, 262–266.
- Bosso N.A., Cissé M.F., van der Waaij E.H., Fall A. and van Arendonk J.A.M. 2007. Genetic and phenotypic parameters of body weight in West African Dwarf goat and Djallonké sheep. *Small Ruminant Research*, 67, 271–278.
- De Villemereuil P. 2012. Estimation of a biological trait heritability using the animal model. How to use the MCMCglmm R package.
- Devendra C. 2013. Investments on Pro-poor Development Projects on Goats: Ensuring Success for Improved Livelihoods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 1–18.
- Dodenhoff J., Van Vleck L. D., Kachman S.D. and Koch R.M. 1998. Parameter estimates for direct, maternal, and grandmaternal genetic effects for birth weight and weaning weight in Hereford cattle. *Journal of animal science*, 76(10), 2521–2527.
- Dohm M.R. Repeatability estimates do not always set an upper limit to heritability. Technical note. *Functional Ecology*, 16, 273–280.
- Falconer D.S. and Mackay T.F.C. 1996. *An Introduction to Quantitative Genetics*, 4th edition. Prentice Hall, London.
- FAO. 2016. Development of integrated multipurpose animal recording systems. *FAO Animal Production and Health Guidelines*. No. 19. Rome.
- FAO. 2018. Farmer field schools for small-scale livestock producers – A guide for decision makers on improving livelihoods. *FAO Animal Production and Health Guidelines* No. 20. Rome, FAO. 56 pp.
- Getachew T., Gizaw S., Wurzinger M., Haile A., Rischkowsky B., Okeyo A.M., Sölkner J. and Mészáros G. 2015. Survival analysis of genetic and non-genetic factors influencing ewe longevity and lamb survival of Ethiopian sheep breeds. *Livestock Science*, 176, 22–32.
- Gholizadeh M., Rahimi Mianji G., Hashemi M. and Hafezian H. 2010. Genetic parameter estimates for birth and weaning weights in Raeini goats. *Journal of Animal Science*, 55, 30–36.
- Gizaw S., Getachew T., Goshme S., Valle-Zarate A., Van Arendonk J.A.M., Temp S., Mwai A.O. and Dessie T. 2014a. Efficiency of selection for body weight in a cooperative village breeding program of Menz sheep under smallholder farming system. *Animal*, 8, 1249–1254.
- Gizaw S., Goshme S., Getachew T., Haile A., Rischkowsky B., Van Arendonk J., Valle-Zarate A. Dessie T. and Mwai O.A. 2014b. Feasibility of pedigree recording and genetic selection in village sheep flocks of smallholder farmers. *Tropical Animal Health and Production*, 46, 809–814.

- Gowane G.R., Chopra A., Ved Prakash A. and Arora L. 2011. Estimates of (co)variance components and genetic parameters for growth traits in Sirohi goat. *Tropical Animal Health and Production*, 43, 189–198.
- Hadfield J.D. 2010. MCMCglmm: Markov chain Monte Carlo methods for Generalised Linear Mixed Models. Tutorial for MCMCglmm package in R, 125.
- Hosseini-Zadeh N.G. and Ghahremani D. 2018. Bayesian estimates of genetic parameters and genetic trends for morphometric traits and their relationship with yearling weight in Moghani sheep. *Italian Journal of Animal Science*, 17, 586–592.
- Ibeagha-awemu E.M., Peters S.O. and Bemji M.N. 2019. Leveraging Available Resources and Stakeholder Involvement for Improved Productivity of African Livestock in the Era of Genomic Breeding. *Frontiers in Genetics*, 10, 357.
- Ilukor J. 2017. Improving the delivery of veterinary services in Africa: insights from the empirical application of transaction costs theory in Uganda and Kenya. *Revue scientifique et Technique. Office international des Epizooties*, 36, 279–289.
- Jafari S. and Hashemi A. 2014. Estimation of genetic parameters for body measurements and their association with yearling live-weight in the Makuie sheep breed. *South African Journal of Animal Science*, 44, 141–147.
- Jiezhi Q. 2009. Comparison of Proportional Hazards and Accelerated Failure Time Models. Thesis of Master of Science: University of Saskatchewan, Canada, 79p.
- Jussiau R., Papet A., Rigal J. et Zanchi E. 2013. Amélioration génétique des animaux d'élevage. *Educagri, Dijon*, 367 p.
- Kirkpatrick M. and Lande R. 1989. The evolution of maternal characters. *Evolution*, 43(3), 485–503.
- Kleinbaum D.G. and Klein M. 2015. *Survival Analysis - A Self-Learning Text*. Springer, Third edition, 55p.
- Klug W.S., Cummings M.R. and Spencer C.A. 2010. *Genetics Concepts*, 9th edition. Artmed, Porto Alegre, p 896
- Komarek A. and Lesaffre E. 2005. Bayesian accelerated failure time model with multivariate doubly-interval-censored data and flexible distributional assumptions. Technical report, 0546, Biostatistical Centre, Catholic University of Leuven, Belgium, 30p.
- Kruuk L.E.B. and Hadfield J.D. 2007. How to separate genetic and environmental causes of similarity between relatives. *Journal of Evolutionary Biology*, 20, 1890–1903.
- Maniatis N. and Pollott G.E. 2002. Nuclear, cytoplasmic, and environmental effects on growth, fat, and muscle traits in Suffolk lambs from a sire referencing scheme. *Journal of Animal Sciences*, 80, 57–67.
- Manirakiza J., Moula N., Detilleux J., Hatungumukama G. et Antoine-Moussiaux N. 2019. Socio-economic evaluation of the relevance of farmer field school project for goat genetic improvement in smallholding systems. Submitted in *Animal: Animal*–19–50539.
- Miah G. Uddin M.J. Akhter S. Kabir F. 2003. Effect of Birth Weight and Milk Yield of Dam on Kid Mortality in Black Bengal Goat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6, 112–114.
- Mirkena T., Duguma G., William A., Wurzinger M., Haille A., Rischkowsky B., Okeyo A.M., Tibbo M. and Solkner J. 2012. Community-based alternative breeding plans for indigenous sheep breeds in four agro-ecological zones of Ethiopia. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 129, 244–253.

- Mohammed K.M., Kamal EL-den M.A. and Dahmouh A.Y. 2018. Heritability and variance components estimates for growth traits in Saudi Ardi goat and Damascus goat and their crosses. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 7, 39–46.
- Mrode R. Tarekegn G.M. Mwacharo J.M. and Djikeng A. 2018. Invited review: Genomic selection for small ruminants in developed countries: how applicable for the rest of the world? *Animal*, 12, 1333–1340.
- Mueller J.P., Rischkowsky B., Haile A., Philipsson J., Mwai O., Besbes B., Valle Zárate A., Tibbo M., Mirkena T., Duguma G., Sölkner J. and Wurzinger M. 2015. Community-based livestock breeding programmes: Essentials and examples. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 132, 155–168.
- Ngona I.A. 2008. Performances et facteurs d'influence de la reproduction de l'espèce caprine en milieu tropical. Thèse d'Agrégation en Médecine Vétérinaire, Université de Lumbumbashi, 165 p.
- Nilforooshan M.A., Khazaeli A. and Edriss M.A. 2008. Effects of missing pedigree information on dairy cattle genetic evaluations (short communication). *Archive Animal Breeding*, 51, 99–110.
- Niyokwishimira A., Baziki W.G., Dundon Nwankpa N., Njoroge C., Boussini H., Giovanni B.J., Cattoli G., Nkundwanayo C., Ntakirutimana D., Balikowa D., Nyabongo L., Zhang Z. and Bodjo S.C. 2019. Detection and molecular characterization of Peste des Petits Ruminants virus from outbreaks in Burundi, December 2017-January 2018. *Transboundary and emerging diseases*, 66, 2067–2073.
- Pemberton J.M. 2008. Wild pedigrees: the way forward. *Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences*, 275, 613–21.
- Pradère J.P. 2014. Improving animal health and livestock productivity to reduce poverty. *Revue scientifique et Technique. Office international des Epizooties*, 33, 735–744.
- Rashamol V.P., Sejian V., Bagath M., Krishnan G., Archana P.R. and Bhatta R. 2018. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behavior and Biometeorology*, 6, 62–71.
- Rege J.E.O., Marshall K., Notenbaert A., Ojango J.M.K. and Okeyo A.M. 2011. Pro-poor animal improvement and breeding - What can science do? *Livestock Science*, 13, 15–28.
- Rout P.K., Matikab O., Kaushika R., Digea M.S., Dassa G., Singha M.K. and Bhusana S. 2018. Genetic analysis of growth parameters and survival potential of Jamunapari goats in semiarid tropics. *Small Ruminant Research*, 165, 124–130.
- Roy R., Mandal A. and Notter D.R. 2008. Estimates of (co)variance components due to direct and maternal effects for body weights in Jamunapari goats. *Animal*, 2, 354–359.
- Salako AE. 2006. Application of morphological indices in the assessment of type and function in sheep. *International Journal of Morphology*, 24, 13–18.
- Sanders K.; Bennewitz J. and Kalm E. 2006. Wrong and missing sire information affects genetic gain in the Angeln dairy cattle population. *Journal of Dairy Sciences*, 89, 315–321.
- Taskin T., Koşum N., Akbaş Y., and Kaymakç M. 2000. A study on some growth traits and their heritability estimates of Damascus kids. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37, 137–144.
- Van Vleck L.D. Pollak E.J. Brranford Oltenacu E.A. 1987. *Genetics for the animal sciences*. Freeman and Company, New York, 391p.
- Vitezica Z.G., Reverter A., Herring W., and Legarra A. 2018. Dominance and epistatic genetic variances for litter size in pigs using genomic models. *Genetic Selection Evolution*, 50, 71.

Watson D.J. 2008. Community farmer field school animal health facilitators: Hybridizing private animal healthcare and capacity building in remote pastoralist areas. Research Report 14. ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. 70 pp.

Wilson A.J., Réale D., Clements M.N., Morrissey M.M., Postma E., Walling C.A., Loeske E., Kruuk B. and Nussey D.H. 2010b. Supplementary File 5 : Tutorial for MCMCglmm version Tutorial1 (MCMCglmm) - Estimating the heritability of birth weight. *Journal of Animal Ecology*, 79.

Wurzinger M. and Gutierrez G. 2017. Analysis of a multi-stakeholder process during the start-up phase of two community-based llama breeding programs in Peru. *Livestock Research for Rural Development*, 29, 10.

Discussion générale et perspective d'avenir

Discussion générale

Justification de l'intérêt de la thématique et de l'approche méthodologique

Les différentes études présentées dans cette thèse proposent divers éléments de réflexion visant la gestion durable des ressources génétiques bovine et caprine au Burundi. Les systèmes d'élevage dans les pays en développement sont complexes. Ils sont influencés par différents facteurs comme la multifonctionnalité des animaux, la rentabilité économique des élevages et les diverses considérations socio-culturelles et environnementales (Wurzinger *et al.*, 2011). La gestion durable des ressources animales requiert ainsi une approche systémique tenant compte de ces aspects. Au Burundi, les ressources animales sont en grande partie dans les mains des petits agri-éleveurs ruraux à des fins de subsistance. Dans un contexte de forte pression foncière et de pauvreté rurale, la stratégie de ces petits agri-éleveurs dans la gestion de leur survie est centrée sur une diversification des espèces végétales et animales, avec une première place accordée à l'agriculture associée à un élevage de petite échelle des ruminants pour l'amendement des terres de cultures. En effet, les ruminants sont perçus comme disposant des potentialités nécessaires pour améliorer la productivité globale de tout le système productif (y compris l'agriculture) et pour répondre à la demande croissante des produits d'origine animale (Tarawali *et al.* 2011).

Cette thèse s'est donc focalisée sur deux espèces animales (bovine et caprine) à cause de leur importance dans la stratégie des ménages burundais pour la gestion de leur survie. Elle avait pour objectif de mieux comprendre les possibles interactions qui existent entre les performances zoo-économiques des élevages bovin et caprin et l'environnement physique et socio-économique des agri-éleveurs, en mettant en lumière la manière dont elles affectent la gestion durable de ces ressources animales.

La première partie de la thèse a consisté donc à faire l'état des lieux sur les types génétiques des bovins et des caprins présents au Burundi et sur leurs performances zootechniques dans leurs systèmes de production. Cette première partie a permis de répondre à notre première question de recherche qui concerne l'effet du croisement sur l'amélioration des performances zootechniques des animaux. L'approche utilisée a été centrée sur les interactions entre la zootechnie et l'environnement. Cependant, elle ne semble pas avoir apporté une compréhension suffisante des considérations des agri-éleveurs quant à la place des élevages de bovins et de caprins dans leurs stratégies de gestion de leur survie alors que celles-ci sont nécessaires pour statuer sur les voies d'amélioration durable de la productivité des élevages et du bien-être des agri-éleveurs. La deuxième partie a alors abordé la dimension socioéconomique des agri-éleveurs. Elle a également permis de répondre à la deuxième question de recherche sur la pertinence des champ-école-paysans pour le renforcement des capacités productives des agri-éleveurs et l'amélioration de la productivité de leurs animaux. Pour ce faire, il s'est avéré nécessaire de combiner les approches participatives et les calculs économiques pour mieux

comprendre les éléments clés qui guident les stratégies des agri-éleveurs en matière d'élevage et ses liens avec la rentabilité économique de ces élevages. Si les calculs économiques ont montré que les organisations paysannes ont un effet bénéfique sur l'amélioration de la productivité économique des élevages, les approches participatives ont révélé que d'autres considérations et enjeux sociaux peuvent entraver la pérennisation de ces organisations. Enfin, pour répondre à la troisième question de recherche sur l'utilisation des races locales, une estimation des paramètres génétiques de la chèvre de race locale à l'aide des modèles animales a pu être réalisée et a montré que l'amélioration génétique de la race locale serait possible sur base des valeurs phénotypiques, mais que la réponse à cette sélection sera faible.

Les résultats issus de cette thèse apportent donc un bon éclairage sur les différentes interventions à mener en matière d'amélioration génétique des performances des bovins et caprins au Burundi. Elle aborde à la fois des questions sur la zootechnie, la socio-économie et la génétique. Cette méthodologie mixte implique donc un compromis entre la science et la réalité.

Limites de l'approche

Une première limite a été de ne pas considérer les performances de reproduction dans l'évaluation de l'effet du croisement Boer sur l'amélioration des performances des caprins. Ces dernières sont très importantes que ce soit pour assurer la multiplication du troupeau et l'approvisionnement consécutif de chevreaux pour la vente. Cela n'a pas été réalisé car, au moment de la collecte des données sur terrain, les femelles croisées Boer de première génération n'avaient pas encore eu suffisamment de mises bas.

Une seconde limite se rapporte à la méthode utilisée pour estimer certains paramètres utilisés dans les calculs économiques. C'est notamment lors de l'estimation de la valeur du fumier qui a été faite à partir des déclarations des agri-éleveurs (à propos des récoltes obtenues pour les principales cultures ayant bénéficié de cette fumure organique) et non sur la valeur directe du fumier. Cette approche n'a pas été utilisée car le fumier n'est pas communément commercialisé dans les petites exploitations familiales de subsistance. Soulignons également le manque de temps de suivi longitudinal des activités des CEPs élevage des vaches laitières au niveau des agriculteurs membres et non-membres. Il est néanmoins raisonnable de considérer que les résultats obtenus traduisent bien la rentabilité de ces systèmes. En effet, ces enquêtes ont été principalement effectuées par l'auteur de cette thèse en langue locale. Les stratégies de se faire introduire par une personne ressource locale et d'expliquer l'objet et l'intérêt de l'étude dans des focus groupes ont permis de créer une confiance avec les personnes interrogées et donc de les inciter à exprimer la réalité. Les entretiens sur des questions sensibles ont été faits à l'anonymat, ce qui a réduit la réticence des enquêtés. La valeur monétaire d'un animal a été estimée en collaboration avec une personne expérimentée (soit un commerçant intermédiaire ou un boucher commerçant).

La durée impartie à la réalisation de la thèse n'a pas été suffisante pour assurer un suivi complet des CEPs élevage des caprins et pour collecter un nombre approprié d'informations nécessaires à l'estimation des paramètres génétiques (exigences du terrain). Ces activités pourraient continuer et permettre le réajustement (si avéré) des résultats obtenus.

Durabilité des systèmes

La question de la durabilité des systèmes d'élevage bovin et caprin est au cœur de notre objectif. La notion de durabilité dans le domaine agricole est considérée sous l'angle économique, social et environnemental au niveau de l'agri-éleveur mais aussi au niveau de tout le système (Hendrik *et al.*, 2010). Pour ce faire, la question centrale à laquelle nous cherchions une réponse était libérée comme suit: dans un pays à forte pression foncière et de pauvreté rurale, comment améliorer la productivité des élevages pour lutter contre la pauvreté tout en préservant les ressources animales pour leur utilisation future ?

Considérations environnementales

La cartographie des systèmes d'élevage selon les conditions éco-climatiques du pays (partie I) a fait ressortir deux grands types de systèmes: d'une part, les systèmes que l'on rencontre dans les régions humides densément peuplées des montagnes situées au centre du pays et d'autre part, ceux que l'on rencontre dans les régions périphériques de basse altitude à saison sèche longue et relativement moins peuplées.

Dans les montagnes au centre du pays, la réduction et la dégradation des sols suite à la pression foncière et l'érosion se sont révélées être des contraintes environnementales majeures du secteur agricole. Les résultats de caractérisation des systèmes de production ont fait ressortir certaines mécanismes d'adaptation mis en œuvre par les agri-éleveurs et les institutions. Par exemple, le nombre d'animaux par exploitation est réduit à 1 ou au plus 3 bovins et à une moyenne de 5 chèvres. Les cultures fourragères sont intégrées sur les courbes de niveaux dans les champs pour non seulement nourrir les animaux, mais aussi pour lutter contre l'érosion. La disparition progressive du système extensif traditionnel au profit du système d'intégration agro-sylvo-zootechnique et les croisements entre les races locales et des animaux de sang exotique ont été observés, même si les croisements étaient moins fréquents en élevage caprin qu'en élevage bovin. Ces tendances ont été également observées dans d'autres régions de montagnes densément peuplées, notamment au Kenya (Udo *et al.*, 2011) et au Rwanda (Manzi *et al.*, 2013). Le système d'intégration agro-sylvo-zootechnique avec l'installation des cultures fourragères sur les courbes de niveaux permet donc d'améliorer et de maintenir un niveau de fertilité des sols qui sont surexploités avec deux récoltes par an. Cela peut être mis en relation avec les remarques de Tarawali *et al.* (2011) qui stipulent que de tels systèmes mixtes jouent un rôle important dans la survie des petits producteurs via l'amélioration concomitante de la

productivité de l'agriculture et de l'élevage. En outre, ce système présente l'avantage de récupérer et valoriser toutes les déjections solides et liquides et ainsi de réduire les pertes d'éléments nutritifs et les émissions de gaz à effet de serre, si des méthodes de gestion intégrée du fumier sont respectées (Ndambi *et al.*, 2019). Cependant, les approches recommandées pour le compostage amélioré ne sont pas souvent adoptées par la plupart des agri-éleveurs, en raison des exigences en main d'œuvre et/ou du faible niveau de connaissances. Le fumier est souvent stocké sans aucune forme de protection, le laissant sensible aux pertes d'éléments nutritifs par la pluie et le soleil. Néanmoins, la formation à travers les CEPs en élevage bovin a montré un effet positif sur l'adoption de cette technologie.

A l'inverse, les résultats ont montré que le système extensif traditionnel reste prédominant, que ce soit en élevage bovin ou caprin, dans les régions périphériques caractérisées par un climat à saison sèche prolongée et un relief de basse altitude. Cette longue saison sèche freine l'intégration des cultures fourragères dans les champs. La taille des troupeaux est relativement plus élevée que celle des régions du centre, avec une moyenne de 9 bovins et de 11 chèvres. Les caprins de race locale y sont prédominants, alors que chez les bovins, ce sont les croisés Ankole X Sahiwal qui y prédominent. La race locale n'est principalement identifiée que dans une seule région (Kumoso) avec une relative disponibilité d'espaces pâturables. Elle tend par contre à être remplacée par des animaux croisés avec du sang exotique inconnu dans les régions densément peuplées du centre. On peut donc conclure que les agri-éleveurs ont adapté leurs systèmes d'élevage aux contextes de pressions foncières et aux conditions éco-climatiques du pays.

Voies d'amélioration des performances des animaux

La durabilité des systèmes utilisant le croisement pourrait être compromise car le niveau d'amélioration des performances des caprins et bovins croisés est faible. En outre, si ces croisements présentent l'avantage d'améliorer rapidement la productivité des animaux et d'accroître la variabilité génétique au sein des populations bovine et caprine au Burundi (Bunning *et al.*, 2019), ils conduisent à une perte des caractères qui permettraient aux animaux de s'adapter aux conditions d'élevage locales, y compris la résistance aux maladies et l'efficacité alimentaire (Groot et Van't Hooft, 2016). Par exemple, l'étude sur les CEPs élevage bovin (partie IIB) a révélé une tendance à l'utilisation intensive des acaricides (avec 1 à 2 pulvérisations par semaine) afin de prévenir les maladies à tiques chez les bovins croisés.

Dès lors, il serait logique de mettre en place des programmes d'amélioration et de conservation des races locales plutôt que ces programmes de croisements. Cependant, en élevage bovin, l'espace disponible aux agri-éleveurs limite le nombre de bovins à moins de 3 têtes ce qui ne permet pas d'envisager un programme de sélection. En effet, cette limitation en effectifs et la situation de pauvreté pour la plupart de ménages burundais font que les agri-éleveurs manifestent de plus en

plus la volonté d'avoir un animal plus performant que la race locale. Or, la sélection est un processus très exigeant en temps pour obtenir un progrès génétique visible. En outre, un programme de sélection en milieu rural ne doit se faire sur un nombre d'animaux suffisant que pour pouvoir choisir parmi eux les parents des générations futures, qui n'existe pas au Burundi. Dans ces conditions, il reste difficile d'envisager de mettre en place un programme de sélection chez les bovins. Le programme de croisement serait alors accompagné par des actions en rapport avec la conservation de cette race. Par exemple, les agri-éleveurs conservateurs (dans la région de Kumoso à l'Est du pays et dans la région de Mugamba sur la crête Congo-Nil), pourraient être organisés et formés pour assurer la gestion de la reproduction et ainsi éviter la consanguinité des animaux (FAO, 2013).

Cette limite n'a pas été observée en élevage caprin. La chèvre de race locale en système extensif prédomine que ce soit dans les élevages des montagnes fortement peuplées ou dans les élevages des régions de basses altitudes. Cependant, ce mode de conduite traditionnel ne favorise ni l'identification des animaux ni le contrôle régulier de leurs performances. En outre, d'autres facteurs socioéconomiques susceptibles d'affecter la stabilité de cet élevage et par conséquent la pérennité ou non d'un programme de sélection au sein de cette espèce sont à signaler dans les paragraphes qui suivent.

Considérations socioéconomiques

Objectifs d'élevage

Nos résultats des études socioéconomiques ont révélé que les motivations des agri-éleveurs dans l'adoption des activités d'élevage rentrent dans le but premier de soutenir l'agriculture qui constitue leur principal mode de survie. En effet, la contribution de l'élevage dans le revenu brut des ménages était faible par rapport à celui de l'agriculture : elle n'était que de 39% en élevage bovin et de 17% en élevage caprin. Ces résultats correspondent à ceux de Herrero *et al.* (2013) qui stipulent que la part de l'élevage dans le revenu des ménages dans les systèmes mixtes des pays en développement est en moyenne de 33%, variant entre 12% à 75% selon le niveau d'intégration agriculture/élevage.

La combinaison de plusieurs approches nous a permis de bien comprendre les motivations des agri-éleveurs quant à leurs stratégies d'élevage. L'approche de la première finalité de l'élevage (partie I) a montré qu'en élevage bovin, la majorité des agri-éleveurs utilisait leurs animaux dans le but premier de produire du fumier (80%) mais préféraient élever des vaches croisées à haut potentiel de production plutôt que des animaux de race locale (89%). En élevage caprin, presque la moitié des agri-éleveurs (48%) ne différenciaient pas cette fonction « fumier » de celle de « vente en cas de besoins », alors que 28% considéraient que la production de fumier était la première finalité de leurs élevages.

La combinaison de l'approche participative à travers les empilements proportionnels et les calculs économiques (partie II) a permis de comprendre la multifonctionnalité des élevages et l'importance relative que les agri-éleveurs accordent à chacune de ces fonctions. En élevage bovin (partie IIB), les résultats des empilements proportionnels ont indiqué que l'importance relative de la fonction « fumier » (37%) et « lait » (23%) étaient les plus importantes, suivie de celle de l'épargne (19%). Les calculs économiques ont montré que la contribution des différentes fonctions dans le revenu brut issu de cet élevage serait autour de 41, 38 et 16% respectivement pour le fumier, le lait et l'épargne sur pied.

En élevage caprins (partie IIC), les empilements proportionnels ont montré que l'importance relative de la fonction fumier (38%) et celle de ventre en cas de besoin (31%) étaient les plus importantes, suivie de celle de l'épargne (24%). Les calculs économiques de la contribution de ces fonctions au revenu brut issu de cet élevage ont par contre montré qu'il existe une diversité interne des ménages selon le niveau de richesse et la participation aux CEPs élevage caprin. Dans le groupe de ménages les plus pauvres avec un troupeau inférieur à cinq chèvres, c'est la fonction vente qui a beaucoup contribué au revenu brut (53%), suivi de celle du fumier (30%). En plus, la marge brute annuelle par chèvre était la plus petite. Cela montre le rôle de la chèvre pour subvenir aux besoins courants et urgents pour ces ménages sans autres sources de revenus, mais que les ventes excessives réduisent la taille du troupeau et la rentabilité économique de cet élevage. Dans le groupe des ménages membres des CEPs avec une taille du troupeau relativement élevée (13 chèvres), c'est plutôt la fonction fumier qui a beaucoup contribué au revenu brut issu de cet élevage (47%), suivie de celle de l'épargne (36%). En outre, la marge brute annuelle par chèvre était la plus élevée. Cela montre le rôle de la taille du troupeau dans l'amélioration de la rentabilité économique de cet élevage via la production du fumier et l'épargne sur pied.

Le message global à tirer de ces résultats est le grand intérêt que les agri-éleveurs accordent à la production du fumier, ce qui semble être justifié par la vocation essentiellement agricole du pays et la forte surexploitation et dégradation des terres, aggravée par le phénomène d'érosion. Cela montre que le transfert de fertilité via la bananeraie tel que stipulé par Cochet (1996) ne suffit plus pour combler le déficit en matière organique et remplacer celle issue de l'élevage pour des sols longtemps surexploités sans période de jachère. Par ailleurs, malgré que la bananeraie a un rôle à jouer dans le maintien de la fertilité du sol en absence d'animaux, une étude récente a montré que la bananeraie a un rôle de maintien de la fertilité du sol au niveau du périmètre du jardin présent autour de l'habitation « Urugo », mais sur les superficies d'extension, l'impact du bananier sur le maintien de la fertilité du sol est plus controversé (Lebailly et al. 2018). Ces auteurs ont également souligné qu'un des facteurs clés de la formation de ce capital-fertilité « des bananeraies » est la possession de troupeau (ou au moins de quelques animaux) qui permet un transfert de fertilité de l'étable vers la bananeraie.

Néanmoins, l'importance élevée accordée au fumier n'exclut pas la volonté d'améliorer les autres fonctions de l'élevage, comme montré par les résultats des empilements proportionnels. Par exemple, les agri-éleveurs ont indiqué leur préférence pour des bovins à hauts potentiels de production laitière et cette fonction était rangée en deuxième position. En élevage caprin, la fonction « vente » était rangée en deuxième position après celle du fumier. Les agri-éleveurs appréciaient également les chèvres croisées qui ont un grand gabarit assurant un prix intéressant à la vente. Ces observations suggèrent que les agri-éleveurs pourraient être intéressés aux programmes d'amélioration des bovins visant la production laitière et à ceux d'amélioration des performances de croissance de la chèvre de race locale.

Impact des champs-école-paysans

L'encadrement technique des agri-éleveurs au travers des CEPs a permis l'adoption de nouvelles technologies et l'amélioration de la productivité par animal, que ce soit en élevage bovin ou en élevage caprin. Néanmoins, les résultats ont révélé certaines limites quant à son efficacité et sa pérennisation. En élevage bovin, les difficultés associées à l'accès restreint aux intrants, au prix par litre de lait non-rémunérateur et à la complexité et/ou le coût élevé de certaines pratiques limitent l'efficacité des CEPs dans l'adoption et la dissémination de nouvelles technologies et la productivité des animaux. En élevage caprin, les faibles capacités techniques des agents communautaires en santé animale utilisés comme facilitateurs des CEPs et les perceptions des agri-éleveurs à limiter la taille du troupeau caprin entravent les progrès.

Ainsi, si ces contraintes pouvaient être levées par des mesures d'accompagnement (renforcement des services d'appui de proximité, accessibilité aux marchés d'intrants et d'écoulement des produits et harmonisation des prix des produits d'élevage), l'encadrement technique des agri-éleveurs regroupés en CEPs permettrait d'améliorer la productivité par animal pour les deux espèces et d'initier des actions d'amélioration et gestion durable de ces ressources. Il s'agirait notamment de les former sur les méthodes de suivi et d'enregistrement des performances et d'accouplement préférentiel des animaux les plus performants.

Vache ou chèvre ?

Si nos résultats ont prouvé que l'élevage caprin est bien intégré dans le système productif des ménages du milieu rural burundais, ils ont aussi montré que cet élevage suit une évolution cyclique avec des périodes de décapitalisation et de redémarrage. Ainsi, les ventes d'animaux peuvent être incontrôlées et excessives dans le but d'assurer la survie des agri-éleveurs pauvres ou pour investir dans d'autres projets comme la spéculation bovine pour les plus riches. Ces facteurs peuvent entraver la mise en place d'un programme de sélection basé sur la valeur génétique des animaux.

L'attrait pour la spéculation bovine pourrait être expliqué par l'observation que l'élevage bovin serait beaucoup plus rentable par rapport à celui des caprins, comme aussi souligné par Udo *et al.* (2011). En outre, la taille moyenne de l'exploitation agricole estimée chez les agri-éleveurs de chèvres (0,9 ha) était inférieure à celle estimée chez ceux disposant un bovins laitier (1,6 ha). Cette tendance vers la spéculation bovine avec l'augmentation de niveau de richesse a été également souligné par Peacock et Sherman (2010), que la faible rentabilité économique de l'élevage caprin poussera les générations futures vers d'autres activités économiques.

Cependant, si l'élevage bovin est beaucoup plus rentable que celui des caprins, il reste peu accessible à la majorité des ménages burundais à faibles revenus. En effet, ces ménages ne possédant qu'un nombre restreint de chèvres peuvent rarement investir dans l'achat d'une vache. Il serait dès lors erroné de croire que cet élevage sera abandonné au profit de celui des bovins. Comme souligné par Peacock (2005) et Devendra (2010), les ménages pauvres continueront à le pratiquer pour assurer leur sécurité alimentaire et financière. Le rôle des CEPs serait alors d'inciter ces agri-éleveurs à intégrer des activités non-agricoles génératrices de revenus et de les soutenir dans ces activités, ceci afin d'éviter les ventes excessives des animaux qui entrave les progrès de la sélection. Cependant, ces activités ne devraient pas être beaucoup exigeantes en temps pour les agri-éleveurs occupés par leurs propres activités. En outre, la promotion de l'élevage des chèvres laitières pourrait être une option intéressante pour ces agri-éleveurs. En effet, le lait de chèvre constitue un produit qu'ils pourraient exploiter sans devoir abattre l'animal et qui a des avantages nutritionnels élevés (Lima *et al.*, 2018). Cependant, il a été observé que le lait de chèvre n'est pas du tout apprécié par la population burundaise. Il faudrait donc des actions de sensibilisation pour augmenter la consommation de ce lait. Idamokoro *et al.* (2019) a montré en Afrique du Sud que la proportion des ménages manifestant la volonté de consommer le lait de chèvre est passée de 38% à 93% suite à une campagne de sensibilisation. On observe aussi en Tanzanie (Nziku *et al.*, 2017) et au Kenya (Kipserem *et al.*, 2011) que les petits producteurs de lait de chèvre écoulent leur production à un centre de transformation du lait de chèvre (surtout en fromage).

En ce qui concerne les agri-éleveurs relativement nantis en terre cultivable, ils nous ont fait part de leur désir de remplacer une partie de leurs chèvres par une vache et d'exploiter ainsi la complémentarité des deux espèces. Sachant que le coût d'une génisse croisée au Burundi est de 437 USD et que celui d'une chèvre est de 33 USD, il faudrait posséder un troupeau d'au moins 15 chèvres : 13 chèvres devraient être vendues en même temps tandis que les 2 autres resteraient dans le troupeau et seraient accouplées pour démarrer la nouvelle multiplication du troupeau. Or, ces agri-éleveurs ont estimé pouvoir gérer efficacement un maximum de 9 chèvres, c-à-d un nombre insuffisant que pour avoir le capital nécessaire. Une solution serait donc d'intégrer, comme chez les agri-éleveurs moins nantis, des activités non agricoles pour compléter le revenu issu de la vente des caprins.

Un seul groupe d'agri-éleveurs était plus intéressé à continuer l'élevage caprin qu'à le transformer en élevage bovin. Ce groupe était constitué par des agri-éleveurs membres des CEPs chez qui la productivité économique par caprin était la plus élevée (13 USD/chèvre)). Ces agri-éleveurs avaient une taille du troupeau de chèvres relativement élevé (13 têtes) par rapport aux autres groupes, ce qui peut être lié en partie à l'interdiction de la vente des animaux avant le suivi de leurs performances de croissance de la part du projet. Néanmoins, ils estimaient pouvoir élever efficacement un troupeau d'une moyenne de 10 têtes. Ces résultats montrent l'impact positif des CEPs dans la sensibilisation des agri-éleveurs à adopter l'élevage caprin, mais que leur pérennisation est conditionnée par la continuité de l'appui technique et financier extérieur. Ceci a été également souligné par Wurzinger et Gutierrez (2017), que les programmes de sélection basés sur les communautés ne sont viables que s'il y a une implication effective de plusieurs acteurs pour leur appui technique et financier. Le rôle des CEPs serait, dans ce cas, d'accompagner ces agri-éleveurs dans la gestion des ventes et la reproduction des animaux, par exemple en vendant les moins bons et en gardant les meilleurs pour la reproduction.

Sélection génétique de la chèvre de race locale

De toutes ces considérations socioéconomiques, on peut établir que l'élevage caprin est soit un élevage de transition pour l'accumulation des revenus d'investissement en élevage bovin ou en d'autres activités économiques en dehors du secteur agricole, soit un élevage de sécurisation alimentaire et financière des ménages pauvres. Dans tous les cas, il est nécessaire d'augmenter les revenus qui en découlent. Un des moyens pour y parvenir serait la mise en place d'un programme de sélection génétique. Comme avantage, la sélection des animaux adaptés à leur milieu naturel permettrait d'améliorer la productivité par animal sans toutefois augmenter les coûts de production (Biscarini *et al.*, 2015). A l'inverse du croisement, la particularité de la sélection génétique est que le progrès obtenu pour un animal est définitif; on ne sait pas lui enlever. De plus, de génération en génération, les progrès réalisés vont s'additionner ce qui permettra d'obtenir des animaux de plus en plus performants. Elle diminuerait également la dépendance avec des pays exportateurs de semences qui coûtent chers. Cependant, les accouplements préférentiels, s'ils ne sont pas bien contrôlés, peuvent diminuer la variabilité génétique et aboutir à un taux de consanguinité élevé (FAO, 2013). Ils peuvent également détériorer les performances des autres caractères qui ne sont pas concernés par la sélection. Par exemple l'augmentation du poids à la naissance a provoqué des contraintes de vêlage dans certaines races bovines nécessitant des opérations césariennes (Oldenbroek et Van der Waaij, 2014). En outre, le progrès réalisé ne devient définitif que si le programme persiste durant plusieurs générations.

Un tel programme doit se faire en dehors des stations expérimentales car il permet d'améliorer et conserver la race dans son milieu naturel, ce qui facilite les animaux à s'adapter aux circonstances

nouvelles (FAO, 2013). En outre, le suivi régulier de ce programme serait en même temps une occasion d'inciter et assister les petits agri-éleveurs à adopter d'autres activités génératrices de revenus pour améliorer leur bien-être. Soulignons également que ce programme a résolu le problème de manque de boucs chez les agri-éleveurs membres des CEPs et chez les voisins. Ces derniers utilisent les boucs reproducteurs sélectionnés des CEPs moyennant le remboursement en nature (un fagot de fourrage).

Dans un tel programme, les animaux qui produiront les générations suivantes sont choisis sur base de critères correspondant aux objectifs de la sélection. Selon les résultats de l'étude socioéconomique de cet élevage (partie IIC), un premier objectif de sélection à poursuivre est l'augmentation de la taille du troupeau jusqu'à l'optimum gérable par l'agri-éleveur, afin d'avoir suffisamment d'animaux à vendre et à rester pour la reproduction. Un autre objectif, tout aussi important que le premier, est l'amélioration de la valeur intrinsèque de chaque animal. En effet, l'étude sur la caractérisation des systèmes d'élevage (partie IC) a révélé que les agri-éleveurs appréciaient les animaux vigoureux et à croissance rapide. Les critères de sélection (caractères que l'agri-éleveur veut sélectionner) associés à ces objectifs seraient donc la croissance des chevreaux et la réduction du taux de mortalité.

Le choix de la méthode de sélection des progéniteurs devant être adapté au niveau d'expertise des agri-éleveurs, la sélection phénotypique semble être la plus adéquate. En effet cette méthode ne nécessite pas de recherche généalogique et se base uniquement sur les performances propres des individus. Mais, pour être efficace, les phénotypes doivent être suffisamment héritable, c.-à-d. que la proportion de la variance phénotypique due à la valeur génétique des animaux doit être suffisamment élevée car la capacité d'un caractère à être transmis d'un parent à sa progéniture dépend de celle-ci. Comme la taille des élevages est faible, l'étude des paramètres génétiques a nécessité le suivi des performances des animaux d'un grand nombre d'élevages. En outre, il a été nécessaire d'empêcher la vente des animaux pendant la période techniquement nécessaire à l'évaluation.

Paramètres génétiques de la chèvre de race locale

Pour déterminer si les critères étaient héritable, les paramètres génétiques de croissance et de survie des chevreaux jusqu'à un an ont été estimés. Les valeurs estimées pour l'héritabilité (entre 5 et 17%) et la répétabilité (autour de 30%) du poids et des mesures corporelles ainsi que celles des corrélations génétiques (entre 65 et 79%) suggèrent que la réponse à la sélection phénotypique (soit basée directement sur le poids vif ou sur les caractères de format) serait très faible. En outre, l'héritabilité pour la survie des petits était presque nulle (2%). Parallèlement à cette sélection phénotypique, des efforts visant à réduire les taux de la mortalité juvéniles devraient se focaliser sur l'amélioration des conditions d'élevage. Cette sélection phénotypique pourrait également être accompagnée par l'initiation d'un noyau de sélection basée sur la valeur d'élevage dans un centre de recherche, avec les

mêmes objectifs que ceux des éleveurs dans les CEPs. Les animaux élites sélectionnés pourraient alors être diffusés au sein de la population caprine dans les CEPs.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale

Les résultats des études menées dans le cadre de cette thèse soulèvent des questions sur la rentabilité économique des élevages et l'utilisation durable des ressources génétiques animales des espèces considérées. Les résultats ont montré que la politique de croisement des animaux de race locale avec des animaux exotiques n'était pas sans risque et que le niveau d'amélioration des performances était inférieur à celles attendues. L'étude des aspects socioéconomiques a montré que l'encadrement des agri-éleveurs via les CEPs pourrait améliorer la rentabilité économique des élevages, même si des mesures restent requises pour consolider les services d'appui technique de proximité et améliorer l'accessibilité au marché des intrants et des produits. Concernant les bovins, divers facteurs entravent l'utilisation et la promotion de la vache de race locale Ankole, à savoir les faibles effectifs, la dominance des croisés et la volonté des agri-éleveurs à élever des animaux croisés à haut potentiel laitier. Les CEPs pourraient alors être consolidés pour l'encadrement technique des petits élevages bovin laitier via la mise en place d'un système de suivi et d'enregistrement des performances au sein de ces CEPs et l'utilisation des taureaux sélectionnés. Un programme de conservation de la vache Ankole pourrait parallèlement être entrepris via l'organisation et la formation des agri-éleveurs conservateurs. Cette approche pourrait également être consolidée pour l'encadrement technique de proximité des agri-éleveurs de chèvres de race locale et l'amélioration génétique de ses performances. Cependant, les résultats ont montré que cet élevage est principalement pratiqué par de petits agri-éleveurs pauvres avec un faible capital productif et peu de sources de revenus. La promotion des activités non-agricoles pouvant générer rapidement des revenus est proposée comme moyen de protection de la chèvre contre les ventes excessives. Cela permettrait de préserver le noyau de sélection, tout en améliorant le bien-être de ces agri-éleveurs. Les paramètres génétiques quant à eux se sont révélés peu favorables à une sélection phénotypique, que cette dernière nécessiterait d'être accompagnée par un noyau de sélection basée sur la valeur d'élevage des animaux dans un centre de recherche. Une amélioration des conditions environnementales, incluant les soins vétérinaires et l'alimentation, est également nécessaire pour réduire les taux de mortalités juvéniles. Toutes ces mesures proposées requièrent un engagement à long terme des institutions d'élevage et de recherche pour fournir un appui technique et financier aux agri-éleveurs.

Perspectives

Comme tout travail pionnier, les résultats de cette thèse ouvrent les perspectives pour d'autres thématiques de recherche qui pourraient être utiles pour la gestion durable des ressources génétiques au Burundi et l'amélioration du bien-être des petits agri-éleveurs du milieu rural burundais.

C'est notamment l'étude des conditions de faisabilité de consolidation des organisations intégrant l'élevage caprin avec d'autres activités agricoles et non-agricoles et leurs effets sur l'amélioration de la rentabilité de l'élevage caprin et du bien-être des ménages pauvres. Par ailleurs, il reste encore à mener une étude sur les facteurs déterminants la consommation du lait de chèvres, afin de proposer cet élevage aux petits agri-éleveurs incapables d'obtenir et d'élever une vache laitière.

Les résultats ont montré que la sélection phénotypique en milieu villageois apporterait une faible réponse à l'amélioration des performances individuelles des animaux. Une étude des conditions de faisabilité de la mise en place d'un programme complémentaire de sélection basée sur la valeur d'élevage des animaux est également requise, afin de diffuser des boucs géniteurs élités au sein de la population caprine au sein des CEPs.

Une évaluation approfondie de la chaîne de valeur du lait au Burundi est également requise, afin de comprendre les différentes interactions entre les acteurs de la filière et faciliter une bonne coordination pour relever les défis de cette filière. En outre, les conditions de faisabilité d'une mise en place d'un système d'enregistrement des données dans les CEPs élevage bovin laitier sont à étudier pour la promotion d'une sélection au sein des croisés et ainsi créer une vache laitière adaptée aux conditions locales.

Les résultats ont montré que la vache de race locale est une race à risque. Vu que la possibilité d'appliquer une mesure de conservation donnée dépend de l'infrastructure disponible et de la capacité technique du pays, une étude particulière sur les nouvelles voies de conservation de cette race rester à être envisagée. La conservation *in situ* étant le mode de conservation le plus préféré car il permet de conserver la race dans son système de production naturel (FAO, 2013), les agri-éleveurs conservateurs pourraient être organisés en une association et être formés, notamment sur la gestion de la reproduction pour éviter des accouplements apparentés. Ce mode de conservation pourrait également être accompagné par une conservation *in situ ex situ* dans une station ou un centre de recherche.

Références

- Biscarini F., Nicolazzi E., Alessandra S., Boettcher P. and Gandini G. 2015. Challenges and opportunities in genetic improvement of local livestock breeds. *Frontiers in Genetics*, 6, 33–39.
- Bunning H., Wall E., Chagunda M.G., Banos G. and Simm G. 2019. Heterosis in cattle crossbreeding schemes in tropical regions: meta-analysis of effects of breed combination, trait type and climate on level of heterosis. *Journal of Animal Sciences*, 97, 29–34.

Cochet H. 1996. Gestion paysanne de la biomasse et développement durable au Burundi. *Cahiers des Sciences Humaines*, 32, 133- 151.

Devendra C. 2010. Concluding synthesis and the future for sustainable goat production. *Small Ruminant Research*, 89, 126–131.

FAO. 2013. In vivo conservation of animal genetic resources. *FAO Animal Production and Health Guidelines*. No. 14. Rome.

Groot M.J. and Van't Hooft K.E. 2016. The hidden effects on dairy farming on public and environmental saving health in the Netherlands, India, Ethiopia and Uganda, considering the use of antibiotics and other agro-chemicals. *Frontiers in public health*, 4, 1–9.

Idamokoro E.M., Gunya B. and Aliber M. 2019. Farmers' perception and willingness to consume goat milk and goat milk products: A case study of the central Eastern Cape, South Africa. *Pastoralism*, 9, 2–8.

Hendrik M., Udo J. and Steenstra F. 2010. Intensification of smallholder livestock production, is it sustainable ? The 5th International Seminar on Tropical Animal Production, Yogyakarta, Indonesia, 19–26.

Herrero M. Grace D., Njuki J., Johnson N., Enahoro D., Silvestri S. and Rufin M.C. 2013. The roles of livestock in developing countries. *Animal*, 7, 3–18.

Kipserem J., Sulo T., Chepngeno W. and Korir M. 2011. Analysis of factors affecting dairy goat farming in Keiyo North and Keiyo South Districts of Kenya. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 3, 555–560.

Lebailly P., Boureima F., Lare V. et Ndimanya P. 2018. Analyse de la chaîne de valeur banane au Burundi. Rapport pour l'Union Européenne, DG-DEVCO. Value Chain Analysis for Development Project, 144 p + annexes.

Lima M.J.R., Teixeira-Lemos E., Oliveira J., Teixeira-Lemos L.P., Monteiro A.M. and Costa J.M. 2018. Nutritional and health profile of goat products: Focus on health benefits of goat milk. *Goat Science*, 189.

Manzi M., Mutabazi J., Hirwa C.D. and Kugonza D.R. 2013. Socio-economic assessment of indigenous goat production system in rural areas of Bugesera District in Rwanda. *Livestock Research for Rural Development*, 25: 11. <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/manz25205.htm> Assessed 23 April 2019.

Ndambi O.A., Pelster D.E. Owino J.O. De Buisonjé F. and Vellinga T. Manure Management Practices and Policies in Sub-Saharan Africa: Implications on Manure Quality as a Fertilizer. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 29.

Nziku Z.C., Kifaro G.C., Eik, L.O., Steine, T., Msalya, G. and Ådnoy, T. 2017. Situation analysis and prospects for establishing a dairy goat breeding program in Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*, 29, 223.

Oldenbroek K. and Van der Waaij L. 2014. Textbook animal breeding Animal breeding and genetics for BSc students. Centre for Genetic Resources and Animal Breeding and Genomics Group, Wageningen University and Research Centre, the Netherlands. 311pp.

Peacock C 2005. Goats - A pathway out of poverty. *Small Ruminant Research*, 60, 179–186.

Peacock C. and Sherman D.M. 2010. Sustainable goat production - Some global perspectives. *Small Ruminant Research*, 89, 70–80.

Tarawali S., Herrero M., Descheemaeker K., Grings E. and Blümmel M. 2011. Pathways for sustainable development of mixed crop livestock systems: Taking a livestock and pro-poor approach. *Livestock Science* 139: 11–21.

Udo J. Aklilu H.A., Phong L.T., Bosma R.H., Budisatria G.S., Patil B.R., Samdup T. and Bebe B.O. 2011. Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. *Livestock Science*, 139, 22–29.

Wurzinger M. and Gutierrez G. 2017. Analysis of a multi-stakeholder process during the start-up phase of two community-based llama breeding programs in Peru. *Livestock Research for Rural Development*, 29, 10.

Wurzinger M., Sölkner J. and Iñiguez L. 2011. Important aspects and limitations in considering community-based breeding programs for low-input smallholder livestock systems, *Small Ruminant Research*, 98, 170–175.

Annexes

Fiches de collecte des données

1. Fiche de collecte des données pour la cartographie des systèmes d'élevage bovins

SECTION I. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE L'EXPLOITATION

Zone agro-écologique : _____ (Code :_) Région naturelle : _____ (Code :_).

Province : _____ (Code :_ _) Commune : _____ (Code :_ _)

Colline _____

N° de l'exploitation : _ _ _ _ Rattachement à un projet : Non 1 Oui 2 Si oui lequel :__

Caractéristiques structurelles de l'exploitation

No	Questions et Filtres	Réponses & Codes
Q0	Heure de début de l'enquête	[_] [_] Heures [] [] Minutes
Q1	Nom de l'exploitant	_____
Q2	Age	<div style="text-align: right;">[] [] [] []</div> <div style="text-align: right;">Ne sait pas 98</div> <div style="text-align: right;">Non réponse 99</div>
Q3	Genre	<div style="text-align: right;">Masculin 1</div> <div style="text-align: right;">Féminin 2</div>
Q4	Niveau D'instruction	<div style="text-align: right;">Universitaire 1</div> <div style="text-align: right;">Secondaire 2</div> <div style="text-align: right;">Primaire 3</div> <div style="text-align: right;">Alphabétisé 4</div> <div style="text-align: right;">Sans 5</div>
Q5	Etat civil du chef de ménage	<div style="text-align: right;">Célibataire 1</div> <div style="text-align: right;">Marié (e) 2</div> <div style="text-align: right;">Veuf (ve) 3</div> <div style="text-align: right;">divorcé (e) 4</div>
Q6	Type d'exploitation	<div style="text-align: right;">Ferme gérée par une institution de recherche : 1</div> <div style="text-align: right;">Exploitation familiale pour la subsistance : 2</div> <div style="text-align: right;">Ferme pour la production et commercialisation des produits d'élevage : 3</div> <div style="text-align: right;">Centre naisseur : 4</div>
Q7. Composition du ménage		
	Personnes du Ménage (du chef de ménage au plus jeune	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Genre (Masculin=1 Féminin=2)</div> <div>Niveau d'études (Voir codes en Q4)</div> <div>Main d'œuvre (1=Temps plein (familiale), 2=Temps partiel (familiale), 3= salariée (extérieure), 4=non actif)</div> <div>Autres activités que l'agri -élevage</div> </div>
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	

Races élevées :

Q8	Structure du troupeau de l'exploitation										
Race/ Croisé	Veaux mâles		Veaux femelles		Génisses	Vaches adultes				Taureaux	Total
	NS	S	NS	S		V1	V2	V3	V4 >		

Code race ou croisé : 1= Ankole, 2= Ankole x Sahiwal, 3= Frisonne pure, 4=Frisonne x Ankole, 5=Frisonne x Zébus, 6=Ayrshire x Sahiwal, 7=Montbéliarde x Ankole
 S : sevré, NS : non sevré, V1 : premier vêlage, V2 : deuxième vêlage, V3 : troisième vêlage, V4> : quatrième vêlage et plus

Objectif d'élevage :

Q9	Quelle est la première finalité de votre élevage bovin ?	Production du fumier	1
		Production du lait	2
		Epargne sur pied	3
		Lait et viande	4
		Autre (à préciser) : _____	5
Q10	Quelle est la race que vous souhaiteraient pour d'atteindre cette finalité ?	Ankole	1
		Ankole x Sahiwal	2
		Frisonne pure	3
		Frisonne x Ankole	4
		Frisonne x Zébus	5
		Ayrshire x Sahiwal	6
		Montbéliarde x Ankole	7
Q11	Quelles sont les qualités prioritaires de la race de votre préférence ?	Résistance aux maladies	1
		Production laitière élevée	2
		Performances de croissance	3
		Production mixte	4
		Autre (à préciser): _____	5

SECTION IV. DONNÉES GÉNÉRALES SUR LE SYSTÈME D'ÉLEVAGE BOVIN

No	Question	Réponse
Q12	Système d'élevage	Traditionnel-agropastoral 1
		IASZ 2
		Intensif laitier 3

Ressources alimentaires pour les bovins

No	Questions	Réponses
	Où pâturez-vous vos bovins ?	Pâturages individuels 1
		Pâturages communautaires 2
		Jachères 3
		Autre (à préciser) : _____
	Le fourrage de vos bovins est-il suffisant dans les jachères et les pâturages ?	Oui 1
		Non 2

	Période de pénurie	
	Utilisez-vous des cultures fourragères dans l'alimentation des bovins ?	Oui 1 Non 2
	Si oui lesquelles ?	<i>T. Laxum</i> 1 <i>P. Purpureum</i> 2 <i>S. Sphacelata</i> 3 <i>C. Calotylsus</i> 4 <i>L. leucocephala</i> 5 Autres à (précisez) _____
	Où sont-elles installées ? (Raisons)	Courbe de niveau 1 Champs fourragers 2
	Quelle est l'espèce la plus dominantes ?	
	Utilisez-vous des concentrés pour la complémentation de vos bovins ?	Oui 1 Non 2
	Si oui lesquels et à quelle période ?	
	Si non pourquoi ?	

Situation zoo sanitaire des bovins

	Que faites-vous lorsque votre animal est malade ?	
	Quels sont les principaux problèmes rencontrés au niveau de l'accès aux soins vétérinaires ?	Absence de pharmacies vétérinaires 1 Prix élevé des médicaments vétérinaires 2 Insuffisance des agents vétérinaires 3 Eloignement des pharmacies vétérinaires 4 Manque de moyen financiers 5 Autre (précisez) _____

Commercialisation

	Etes-vous lié à un réseau de collecte de lait ?	
	Vous arrive-t-il de ne pas écouler toute la quantité de lait produit ?	
	Dégagez-vous un surplus de fumier pour la vente ?	
	Estimation de la quantité de fumier produite par an	

Estimation des paramètres de reproduction et de production laitières

N° animal	Age 1er vêlage	Intervalle entre vêlage	Encours de lactation (oui=1 non=2)

Animal en lactation

N° animal	Production journalière au 1 ^{er} trimestre de lactation	Production journalière au 2 ^{ème} trimestre de lactation	Production journalière au 3 ^{ème} trimestre de lactation

2. Fiche de collecte des données pour la caractérisation des caprins et de leurs systèmes de production

Position géographique de l'exploitation

Zone agro-écologique : _____

Province : _____ Commune : _____

N° de l'exploitation : _____ Rattachement à un projet : Non 1 Oui 2

Caractéristiques structurelles de l'exploitation

No	Questions	Réponses & Codes
Q0	Heure de début de l'enquête	[][] Heures [][] Minutes
Q1	Nom de l'exploitant	
Q2	Age	[][][][] Ne sait pas 98 Non réponse 99
Q3	Genre	Masculin 1 Féminin 2
Q4	Niveau d'instruction	Universitaire 1 Secondaire 2 Primaire 3 Alphabétisé 4 Sans 5
Q5	Etat civil du chef de ménage	Célibataire 1 Marié (e) 2 Veuf (ve) 3 Divorcé (e) 4
Q6	Type d'exploitation	Ferme gérée par une institution de recherche : 1 Exploitation familiale pour la subsistance : 2 Exploitation commerciale : 3 Centre naisseur : 4
Q7. Composition du ménage		
	Personnes du Ménage (du chef de ménage au plus jeune)	Genre (Masculin=1 Féminin=2)
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
		Niveau d'études
		Main d'œuvre (1=familiale), 2=Temps partiel, 3= salariée (extérieure), 4=non actif)
		Autres activités que l'agri-élevage

Structure du troupeau caprin de l'exploitation :

Q8	Nombre total de caprin dans l'exploitation :				
Q9	Structure du troupeau caprin de l'exploitation :				
	Groupe génétique : Local =1, Croisé Boer =2 Autre race (précisez)	Sexe : Mâle = 1 Femelle =2	Groupe d'âge : - Moins d'une année =1 - Entre 1-2 ans =2 - Entre 2-3 ans =3 - Entre 3-4 ans =4 - Plus de 4 ans =5	Stade physiologique : - Jeune femelle =0 - Femelle en gestation =1 - Femelle en lactation =2 - Femelle tarées =3	Robe dominante 1= noire 2 = noire-grise 3 = grise 4 = blanc 5 = blanc-noire 6 = autre à préciser
	1				

	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
Q10	Quel est le groupe génétique préféré ?			Local =1, Croisé Boer =2 Autre race (précisez)	
Q11	Quelles sont les qualités prioritaires de la race de votre préférence ?		Résistance aux maladies	1	
			Bonne conformation	2	
			Croissance rapide	3	
			Performance de reproduction	4	
			Autre (à préciser): _____	5	

Données générales sur le système d'élevage caprin

N°	Questions	Réponses
Q12	Mode de conduite des caprins	Divagation 1
		Attachement au piquet 2
		Gardiennage 3
		Gardiennage + attachement au piquet 4
		IASZ 5
		Autre (précisez): _____

Ressources alimentaires pour les caprins

N°	Questions	Réponses
Q13	Où pâturez-vous vos caprins?	Pâturages individuels : 1 Pâturages communautaires : 2 Jachères : 3 Stabulation permanente : 4
Q14	Le fourrage de vos caprins est-il suffisant dans les jachères et les pâturages ?	Oui : 1 Non : 2
Q15	Quelle est la période de disette ?	Toute l'année : 1 Saison sèche : 2 Saison des pluies : 3
Q16	Utilisez-vous les cultures fourragères en alimentation des caprins ?	Oui : 1 Non : 2
	Si oui les quelles ? et à quelle période de l'année ?	
Q17	Utilisez-vous des aliments concentrés en alimentation des caprins ?	Oui : 1 Non : 2
	Si oui les quelles ? En quelle période ?	
Q18	Utilisez-vous des résidus de cultures en alimentation des caprins ?	Oui : 1 Non : 2

Logement pour les caprins

N°	Questions	Réponses
Q19	Où logez-vous vos caprins?	Maison familiale : 1 Cuisine : 2 Etable : 3 Belle étoile : 4

		Jeune femelle (1-2 ans) : [][] Mâle adulte : [][] Femelle adulte : [][] Femelle à la réforme : [][]
Q31	Pour quel motif principal ?	Maladie : 1 Réforme : 2 Besoins familiaux (frais scolaires, Hospitalisation...) : 3 Destocking : 4 Autre (précisez) _____ : 5
Q32	Quels sont les principaux clients de caprins ?	Commerçants intermédiaires : 1 Bouchés commerçants : 2 Cabaretiers : 3 Directement aux marchés à bétail : 4 Agri-éleveurs : 5 Autre (précisez) _____ : 6
Q33	Quelles sont les principales activités qui génèrent les revenus du ménage ? (par ordre d'importance)	Agriculture : [] Elevage : [] Commerce : [] Artisanat : [] Emploi salarié : [] Autre (précisez) _____ []

Poids et mensurations des caprins de plus d'une année

Groupe génétique	N° d'identification	Poids (kg)	Périmètre thoracique (cm)	Longueur du corps (cm)	Taille au garrot (cm)
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

3. Guide d'entretien pour l'évaluation socio-économique de l'élevage caprin pour la pertinence de la mise en place d'un programme de sélection

Sachant que l'orientation des questions viendra des réponses de l'éleveur

- Début de son exploitation, surface agricole utile (outil GPS), principales cultures + calendrier agricole + périodes de soudures; autres activités non agricole.
- Niveau d'éducation, nombre d'enfants (actifs et inactifs), main d'œuvre de l'exploitation, âge
- Périodes de beaucoup de dépenses familiales ? que ce qui est vendu en premier lieu ? (Chèvre, récoltes, autre animal,)
- Place de l'élevage par rapport à l'agriculture : au niveau de la génération des revenus (tendance entre 5 ans avant, actuellement, et 5 ans après). L'éleveur devrait s'exprimer sur les raisons des tendances exprimées).

5. Place de l'élevage caprin par rapport aux autres animaux d'élevage : Début de son élevage, évolution du troupeau (toutes espèces confondus) depuis le début jusqu'à actuellement, prévisions pour l'avenir, avec les raisons des tendances exprimées.
6. Si l'éleveur a plusieurs animaux : priorisation au niveau du temps et des dépenses pour chaque espèce ; laquelle susceptible de générer beaucoup de revenus.
7. Elevage caprin : il y a 5 ans (effectifs), actuellement (effectifs) ; dans l'avenir de 5 ans (effectifs) : l'éleveur devrait donner les raisons de son évolution globale du troupeau : pourquoi augmentation ou limitation des effectifs d'animaux.
8. Importance des différentes fonctions d'élevage caprin au sens large et leurs tendances (avant 5 ans, actuellement et dans l'avenir de 5 ans)
9. Que ce qu'ils font pour améliorer la productivité de la fonction essentielle?
10. Perception des agri-éleveurs quant aux contraintes majeures en élevage caprin (alimentation, maladies, génétique, suivi vétérinaire ; temps (pour gestion du troupeau) + classement (cette question aussi dans des focus groupes)
11. Est ce qu'il y a eu des interruptions où vous avez vendus tous le troupeau pour reprendre à la longue ?
12. Les périodes de vente de caprins; facteurs déterminants les prix (couleur, race, format, âge, périodes (lesquelles)...) ! (aussi sous forme de focus groupe chez les éleveurs et au marché)
13. Age de vente des mâles, des femelles, de réforme des femelles? Age de mise en reproduction des femelles, âge de premier service des mâles ?
14. Evaluation de la productivité au sens large : dans 2 régions (haute altitude Vs basse altitude) : Suivi longitudinal d'une année pour relever les entrées et les sorties dans les troupeaux des exploitations membres des CEPs et non-membres.

4. Guide d'entretien pour l'évaluation de l'efficacité des CEPs élevage bovin

1, Groupes de discussion

Nom de votre CEP ; comment il a été mise en place

Enumérer les formations reçues dans le cadre du CEP ; celles qui ont été mis en pratique par les membres CEP ; celles qui ont été reproduites par les non membres ; intérêt pour les non-bénéficiaires.

Enumérer les différentes fonctions de l'élevage bovins, et dire celles qui vous semblent les plus importantes (lister et ranger) ;

Quelles sont les principales cultures bénéficiant de la fumure organique de la vache octroyée, quel est l'impact des animaux données sur la vie socio-économique des ménages ; différence entre les bénéficiaires et les non-bénéficiaires ?

2, Entretiens individuels semi-structurés :

- Debut de l'élevage bovin
- Membre CEP ; Non- Membre CEP (raisons)
- Niveau d'éducation Taille de l'exploitation Age Main d'œuvre salarié

- Importance relative des différentes fonctions de l'élevage bovin, qui ont été énumérées lors des focus groupes (100 grains).
- Formations reçues ; celles mises en pratique, et celles non adoptées (raisons) ; celles reproduite par les non-membres (raison à exprimer librement) ?
- Performances de l'animal :
 - Date d'octroi de l'animal ; Date de premier vêlage ;
 - Date deuxième vêlage Cas des Mortalités ?
 - Production laitière/ jour au premier trimestre de lactation
 - Production laitière/ jour au 2ème trimestre de lactation
 - Production laitière/ jour au 3ème trimestre de lactation
 - Cahier de vente de lait (consulté)

Valeur monétaire du fumier : estimée à partir de la valeur monétaire de la différence entre les récoltes des principales cultures vivrières ayant bénéficié de la fumure organique (avant l'acquisition de l'animal et actuellement) :

- Principales cultures ayant bénéficié de la fumure organique :
- Estimation des récoltes avant l'élevage ; et actuellement.
- Dépenses allouées à l'élevage bovin (coûts variables) :
 - Temps journalier consacré à l'activité d'élevage bovin :
 - Recherche du fourrage Recherche de la litière,
 - Eau d'abreuvement ; Récolte du fumier
 - Installation des cultures fourragères
 - Estimation des dépenses annuelles pour les soins vétérinaires ;
 - Dépenses liés à l'achat du fourrage ;
 - Dépenses annuelles pour l'achat des concentrés
 - Dépenses annuelles pour les blocs à lécher
 - Autres dépenses
 - Valeur monétaire de l'étable et son amortissement annuel (Coûts fixes)

Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège

4000 Liège (Belgique)

D/2019/0480/17

ISBN 978-2-87543-148-6

